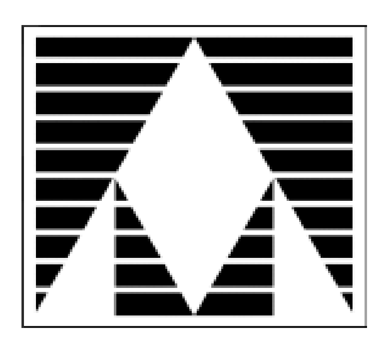
# APM WinMachine

Система автоматизированного проектирования
машин, механизмов и конструкций

Каталог програмных продуктов НТЦ АПМ

# Комплексная автоматизация процессов проектирования



Москва
Издательство «АПМ»
2003

# СОДЕРЖАНИЕ

## О компании

Научно-технический центр АПМ (Автоматизированное Проектирование Машин) специализируется на создании программ для расчета и проектирования машин и механизмов, металлических конструкций, деталей и узлов. Кроме того, комнания выполняет оригинальные разработки в области механики, машиностроения и программирования по заказам предприятий и организаций. Основной разработкой фирмы является система проектирования деталей машин APM WinMachine, которая включает в себя программы для проектирования деталей общего назначения и инструменты для расчета на прочность, жесткость и долговечность. Компания разработала методы расчета неидеальных машин, которые не имеют мировых аналогов.

Компания АПМ, вначале являвшаяся одним из подразделений Инновационного центра Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана, как самостоятельная структура была создана в октябре 1992 года. Она занималась разработкой программного обеспечения в области автоматизированного проектирования машин. Этот вид деятельности отразился и в названии, которое получилось от первых букв выражения “Автоматизированное Проектирование Машин” - АПМ. К тому моменту времени на рынок программных продуктов компанией АПМ уже была выпущена версия системы автоматизированного проектирования, предназначенная для выполнения инженерных расчетов отдельных деталей и узлов машин.

## Наши пользователи

Наши программные продукты адресованы компаниям, предприятиям и независимым специалистам, работающим в различных отраслях машиностроения и смежных с ним. Пользователи найдут в них средства, позволяющие решить большую часть задач, связанных с проектированием и расчетом машин, механизмов и конструкций. Пакет APM WinMachine также является незаменимым инструментом для подготовки студентов механических специальностей. Полнота охвата проблем, использование новейших методов решения задач, мощные и удобные интерфейсные средства позволяют им быстро приобрести навыки, необходимые современному инженеру-конструктору. Наших клиенты - крупнейшие заводы различных отраслей машиностроения, добывающие и энергетические компании, конструкторские бюро, научно-исследовательские институты, ведущие технические университеты и вузы России. А также некоторые зарубежные компании и учебные заведения. Более подробную информацию можно найти на нашем сайте www.apm.ru.



*Представители предприятий и организаций на четвертом ежегодном Форуме пользователей.*

*г. Королев 2003 г.*

# APM WinMachine

*Система автоматизированного проектирования*
*в машиностроении и строительстве*

Научно-технический центр «Автоматизированное проектирование машин» (НТЦ АПМ), работающий на рынке информационных технологий более 10-ти лет, предлагает предприятиям, проектным и исследовательским организациям, а также техническим университетам CAD\CAE\PDM Систему автоматизированного проектирования APM WinMachine. Система предназначена для выполнения всего многообразия расчетов машин, механизмов и конструкций и полноценного инженерного анализа создаваемого оборудования с целью выбора его оптимальных параметров, а также оформления и хранения конструкторской документации. Это новейшее программное обеспечение, созданное в России, недорогое по цене, которое в полном объеме учитывает требование ГОСТов, СНиПов и частично национальных стандартов зарубежных государств.

Имеющиеся в APM WinMachine возможности инструментального обеспечения решения инженерных задач позволяют выполнить расчет:

- энергетических и кинематических параметров;
- прочности, жесткости и устойчивости;
- выносливости при переменных режимах нагружения;
- вероятности, надежности и износостойкости;
- динамических характеристик.

APM WinMachine — это наукоемкий инструмент, созданный на базе современных инженерных методик проектирования, передовых численных методов механики, математики и моделирования, гармонично сочетающий опыт поколений конструкторов, инженеров-механиков и других специалистов с возможностями компьютерной техники и технологии.

В настоящее время в состав APM WinMachine входит параметрический чертежно-графический редактор, редактор поверхностных и твердотельных моделей, информационная и графическая база данных, электронный учебник, модули инженерных расчетов, инструменты для расчета напряженно-деформированного состояния (НДС) методом конечных элементов, средства анализа динамического состояния механических конструкций и их устойчивости. Все это в конечном итоге позволяет выполнить весь комплекс необходимых вычислений и в полном объеме подготовить конструкторскую документацию, в случае необходимости используя возможности экспорта и импорта графической и расчетной информации.

Созданное с использованием предлагаемого нами программного обеспечения оборудование будет соответствовать наилучшим мировым аналогам, оптимальным по цене, весу, энергопотреблению и т. п., и, как результат, станет конкурентоспособным на мировом рынке.

Система APM WinMachine построена по модульному принципу, причем каждый из модулей может работать как самостоятельно, так и в комбинации с другими:

- **APM Graph —** плоский чертежно-графический редактор для оформления конструкторской документации, имеющий удобные функции параметрического задания геометрических объектов.

- **APM Studio —** модуль создания трехмерных поверхностных и твердотельных моделей со встроенным генератором разбиения на конечные элементы.

- **APM Data —** модуль хранения и редактирования стандартных и информационных параметров со встроенными параметрическими библиотеками типовых деталей.

- **APM DOCs —** система технического документооборота

- **MDM —** электронный учебник «Основы проектирования машин», в котором изложены основные методы расчета, использованные при разработке системы.

- **APM Structure3D —** модуль проектирования пластинчатых, оболочечных и стержневых конструкций и их произвольных комбинаций, а также твердотельных моделей методом конечных элементов. С его помощью можно рассчитать НДС конструкции в статическом режиме, выполнить расчеты на устойчивость и определение собственных частот, а также проанализировать НДС конструкции при произвольном динамическом нагружении.

- **APM Joint —** модуль проектирования соединений деталей машин и элементов конструкций, который позволяет выполнить комплексный расчет всех типов резьбовых, сварных, заклепочных соединений и соединений деталей вращения.

- **APM Trans —** модуль проектирования передач вращения, предназначенный для расчета всех типов зубчатых передач, а также червячных, ременных и цепных передач, и генерации чертежей элементов этих передач в автоматическом режиме.

- **APM Bear —** модуль расчета неидеальных подшипников качения, позволяющий провести комплексный анализ опор качения всех известных типов.

- **APM Plain —** модуль расчета и анализа радиальных и упорных подшипников скольжения, работающих в условиях жидкостного и полужидкостного трения.

- **APM Shaft —** модуль проектирования и анализа валов и осей.

- **APM Drive —** модуль проектирования привода произвольной структуры и планетарных и волновых передач. С его помощью выполняется комплексный расчет кинематических характеристик и проектирование как привода в целом, так и отдельных его элементов (подшипников качения, передач зацеплением и валов), с автоматической генерацией чертежей как отдельных деталей, так и в сборе, включая корпус.

- **APM Spring —** модуль проектирования пружин и других упругих элементов машин, при помощи которого можно рассчитать и вычертить пружины сжатия, растяжения и кручения, плоские пружины, а также тарельчатые пружины и торсионы.

- **APM Cam, APM Slider —** модули проектирования кулачковых механизмов с автоматическим генератором чертежей и рычажных механизмов произвольной структуры.

- **APM Screw —** модуль для расчета неидеальных передач поступательного движения. Он способен рассчитать винтовые передачи скольжения, шарико-винтовые и планетарные винтовые передачи.

- **APM Beam, APM Truss —** модули проектирования балочных элементов конструкций и плоских ферменных конструкций методом конечных элементов.

- **APM FEM2D —** модуль расчета НДС плоских деталей методом конечных элементов.

APM WinMachine предназначена для персональных компьютеров и работает в средах Microsoft Windows-95, 98, 2000, ME, NT, XP.

Система доступна по цене. Сотни пользователей APM WinMachine в России и за рубежом существенно сократили сроки разработки, улучшили качество проектирования, многократно окупив вложенные в нее средства. Среди наших активных пользователей такие известные предприятия как «ВНИИПТМАШ» и «ВНИИКОМЖ», Москва; Канонерский судоремонтный завод, С-Петербург; Находкинский судоремонтный завод и НТЦ «Грузоподъемные краны», Приморский край; ОАО «Уралмаш» и ОАО «Уралгипроруда»,

г. Екатеринбург; Металлургический завод им. А.К. Серова, г. Серов, Кушвинский завод прокатных валков, г. Кушва и ОАО «Севуралбокситруда», г. Североуральск, Свердловская обл.; «НК Уралтерминалмаш», г. Миасс Челябинской обл.; ГУП «Машиностроительный завод ПО «Сибсельмаш», г. Новосибирск; Южно-Уральский машиностроительный завод (ЮУМЗ), г. Орск Оренбургской обл.; ОАО «Тюменьэнергоремонт», г. Сургут Тюменской обл.; Уральский электрохимический комбинат, г. Новоуральск Свердловской обл.; Демиховский машиностроительный завод, г. Орехово-Зуево МО; Брянский машиностроительный завод; ГУП НПО машиностроения, г. Реутов МО; компания сотовой связи «БИЛАЙН»; ОПП АВТОВАЗ, г. Тольятти; Волжский трубный завод, Волгоградская обл.; ОАО «Северсталь», г. Череповец; Мебельная компания «Шатура», Московская обл.; ЗАО «Интертрансстрой», г. Москва; Сыктывкарский ЛПК, Республика Коми; Ижевский завод нефтяного машиностроения; Заволжский моторный завод, г. Заволжье Нижегородской обл.; Комбинат «МАГНЕЗИТ», г. Сатка Челябинской обл.; «Тяжмаш», г. Сызрань Самарской обл.; Ангарский завод полимеров; Николаевский глиноземный завод, Украина; НПК «Фотоприбор», Украина; фирмы «HUECK» и KBE, Германия; ОАО «Ростсельмаш»; Красноярский электрохимический комбинат и многие другие.

Вы тоже можете получить такие возможности. По желанию потенциального Заказчика мы можем предоставить Систему APM WinMachine во временное пользование сроком на один месяц для детального ознакомления с ее работой. Для этого необходимо выслать нам по факсу гарантийное письмо, подтверждающее Ваше обязательство вернуть Систему в случае отказа от ее приобретения. В письме просьба указать удобный для Вас способ отправки системы, точный адрес (в случае отправки почтой) и контактное лицо с Вашей стороны (ФИО, телефон, должность). Подробные требования к оформлению гарантийного письма содержатся на нашем сайте www.apm.ru.

Мы проводим региональные семинары, информация о проведении которых размещается на сайте. Вы сможете задать интересующие Вас вопросы, а также получите все необходимые рекламные материалы.

По вопросам участия в семинарах, а также приобретения и технического обслуживания APM WinMachine просьба обращаться к коммерческому директору НТЦ АПМ Стайновой Елене Геннадьевне.

Тел/факс: (095) 513-1393; E-mail: com@apm.ru; www.apm.ru;
Адрес: 141070, Московская область, г. Королев - Центр, а/я 58.

# APM Graph

## «плоский чертежный графический редактор»

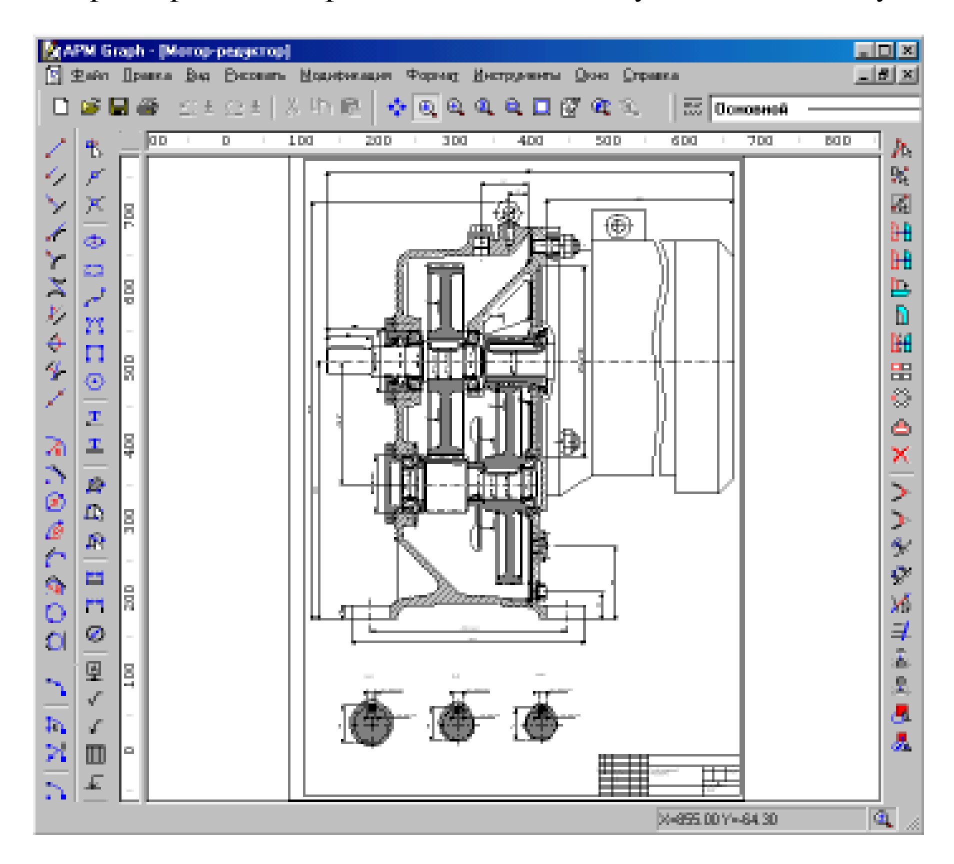
### APM Graph как элемент системы автоматизированного проектирования

Модуль APM Graph предназначен для выполнения графической части компьютерной подготовки конструкторской документации. Он является неотъемлемой частью системы APM WinMachine, но может использоваться и самостоятельно. APM Graph представляет собой плоский 2D — графический редактор, который можно с успехом использовать для оформления графической части конструкторской документации в различных областях техники, науки, в архитектуре и строительстве. Он может эффективно использоваться для подготовки исходных данных при работе отдельных модулей системы APM WinMachine. С этой целью в каждой из прикладных расчетных программ имеется возможность импорта графической информации.

### Возможности APM Graph

Для отрисовки объектов имеется набор примитивов, таких как линия, окружность, дуга, точка, сплайн. Причем объекты можно рисовать как в свободном режиме, так и связанными с другими объектами: параллельно, перпендикулярно, касательно и др. При отрисовке примитивов существует возможность привязки к контрольным точкам (концам линии, центрам дуг и окружностей и др.) или к середине отрезка.

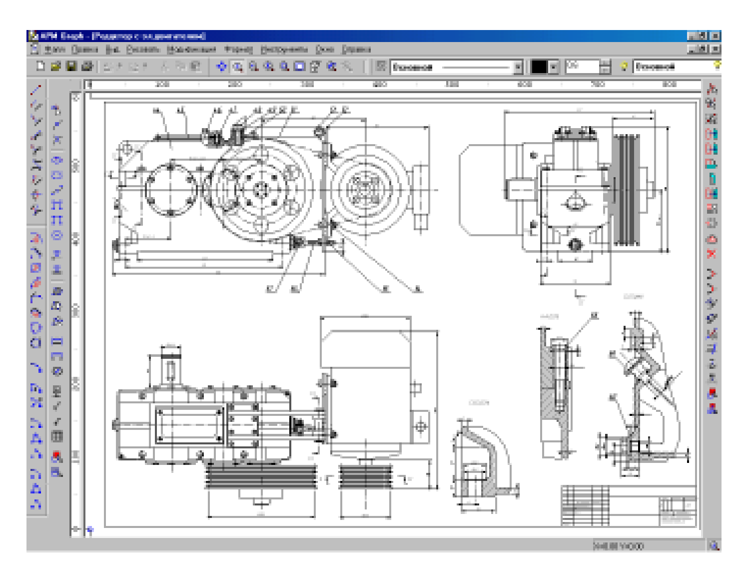
Для каждого примитива существует *несколько способов задания*. В зависимости от установленных параметров геометрические связи между объектами могут закрепляться и




*Общий вид редактора с фрагментом чертежа мотор-редуктора*

отслеживаться при редактировании. Точные числовые параметры примитивов можно ввести в диалоговом окне ручного ввода.

В модуле APM Graph имеются команды, которые можно использовать для нанесения линейных и угловых размеров. Размеры проставляются как в автоматическом, так и неавтоматическом режиме. Реализована возможность расчета размерных цепей. Размеры легко редактируются. Имеется возможность простановки допусков линейных и угловых величин. Величины допусков можно взять из библиотеки APM Data.

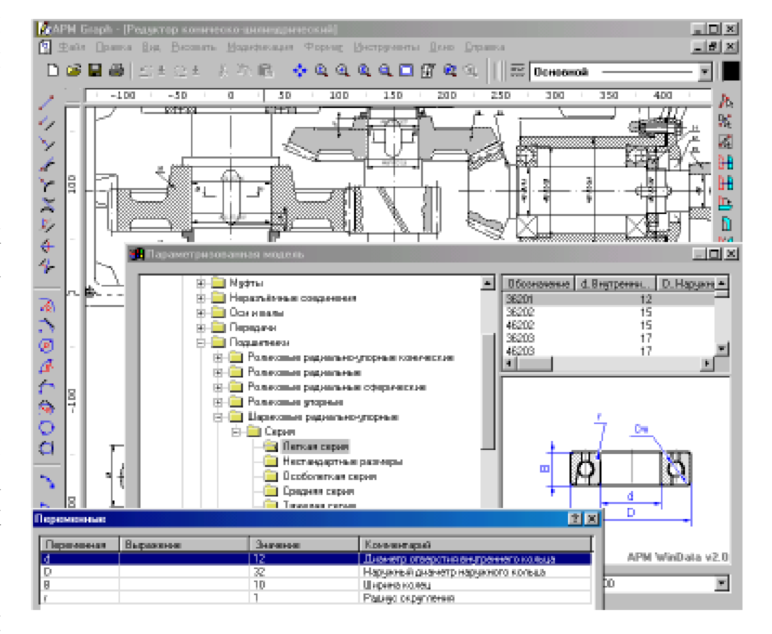


*Фрагмент сборочного чертежа*

Для рисования объектов различными типами линий имеется встроенный редактор типов линий. Разработанные типы линий можно записывать в файл и подгружать их в дальнейшем в других чертежах.

При вводе *текста* имеется возможность форматирования абзаца: задание отступов, интервалов, выравнивания, угла наклона. *Штриховка* создается нескольких типов: сплошная заливка, градиентная заливка, наклонными линиями, предопределенная штриховка и текстурная, когда в качестве образца используется *bmp* или *wfm* файл. Для образмеривания чертежа используются следующие типы размеров: линейные, угловые и радиальные. Имеется возможность простановки различных типов специальных символов: допусков, знака базы, знака шероховатости, выносок и специальных знаков. Для соединения линий и дуг можно создать скругления или фаски по различным типам параметров.

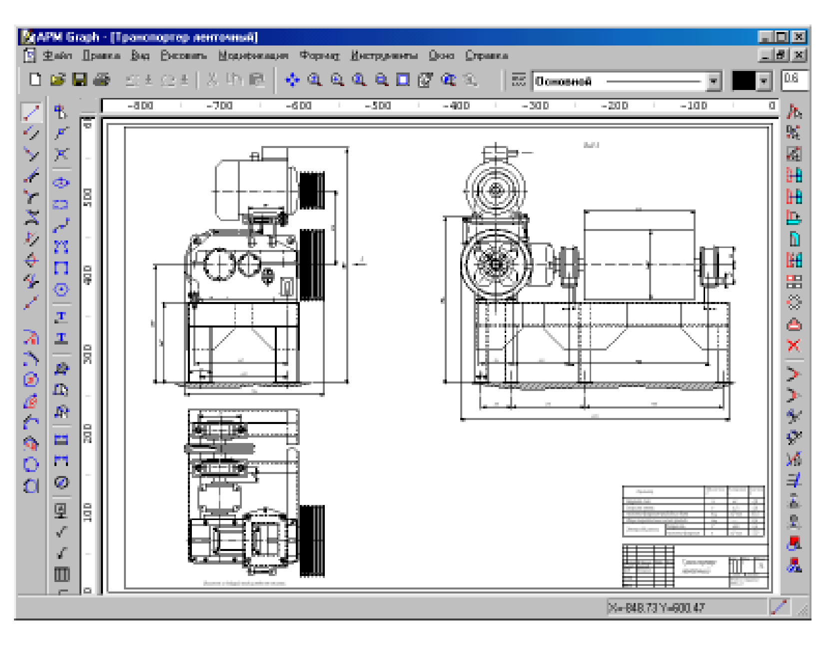
В чертежно-графическом редакторе есть возможность прямой прорисовки графических символов, выполненных согласно существующим ГОСТам на оформление графической документации. Эти символы используются в качестве условных обозначений чистоты обработки поверхности детали, технических требований на эти поверхности, а также некоторых специальных элементов, таких как сварные швы и т. д.




*Фрагмент чертежа редуктора, выполненного с использавонием стандартных элементов базы данных*

Следует отметить, что дополнительно с редактором поставляется набор библиотек стандартных элементов.

Удобным инструментом оформления конструкторской документации является редактор таблиц, использование которого существенно облегчает работу по оформлению технических документов, включающих таблицы различных форм и размеров. С помощью этого редактора можно сформировать таблицу произвольного




*Пример чертежа привода ленточного транспортера, выполненного в модуле APM Graph*

содержания, выбрать подходящий тип линий и заполнить поля текстовой информацией. Удобно организованы операции редактирования.

Для более удобной работы с чертежом предусмотрена работа с блоками. Блок — это совокупность объектов, с которой можно работать как с одним объектом. Возможно создавать блоки как из отдельных примитивов, так и использовать вложения блоков друг в друга. Блоки можно сохранять в отдельный файл для организации библиотек конструкций.

При работе над чертежом удобна возможность размещения объектов по различным слоям. В менеджере слоев Вы можете управлять включением / отключением и блокировкой/разблокировкой слоев.

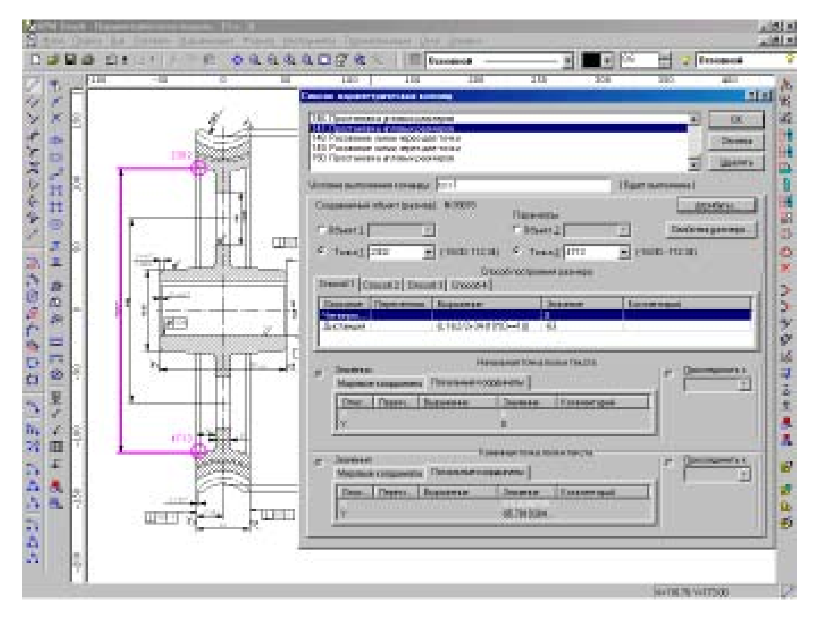
Объекты чертежа можно редактировать различными способами: перемещать, создавать копии, вращать, масштабировать, зеркально отображать, создавать прямоугольный и круговой массивы, смещать объекты. Можно производить разрыв линий, дуг, окружностей или сплайнов в точке или между двумя точками.

В чертежном редакторе существует буфер на 200 undo-redo команд. Имеется возможность предварительного просмотра перед печатью и осуществления печати на принтер или плоттер.

## Параметризация

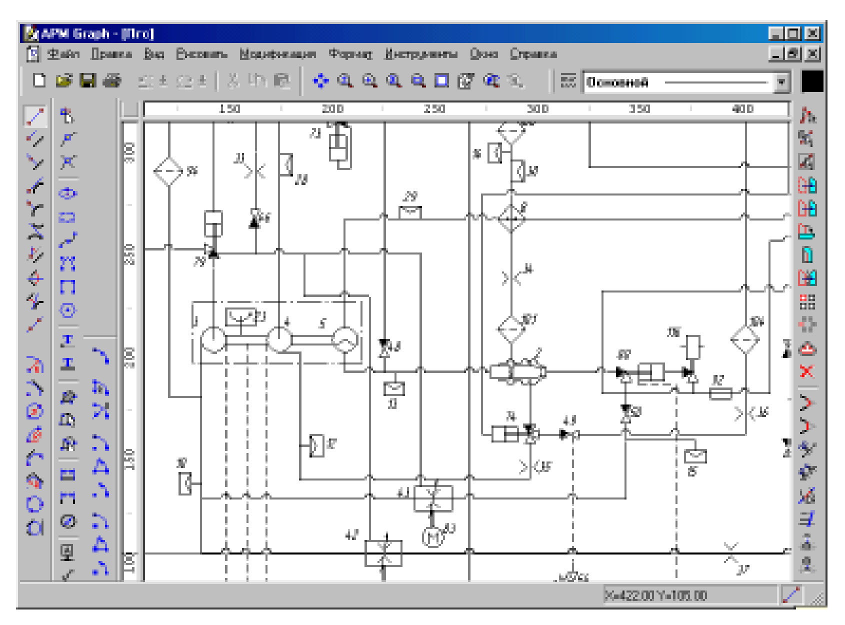
В чертежно-графическом редакторе реализована возможность параметрического задания графического объекта.

Известно, что любая машина примерно наполовину состоит из типовых деталей и узлов, и в этой связи значение параметризация трудно переоценить. Она позволяет автоматически прорисовывать геометрические объекты, если после выполнения необходимых расчетов последние были заданы параметрически. При работе в этом режиме автоматически сохраняется последовательность выполняемых команд и их атрибутов. Этим атрибутам можно присваивать соответствующие имена и задавать необходимые числовые и функциональные соотношения. Функциональные соотношения могут быть совершенно произвольными, т. е. описанными произвольными аналитическими функциями. Для задания таких функций имеется специальный редактор анализа и преобразования аналитических данных.



*Работа с параметрической моделью червячного колеса*

Стандартные конструктивные графические элементы, оформленные в виде параметрических объектов в среде APM Graph, включены в состав единой базы данных и функционируют вместе с ней как в режиме расчета, так и в режиме прорисовки.




*Фрагмент пневмо-гидравлической схемы, созданный с использованием элементов базы данных*

В случае параметризованного блока появляется возможность хранения библиотек стандартных конструкций. При вставке параметризованной модели пользователь задает значения переменных, по которым строится параметрический блок.

# APM Studio

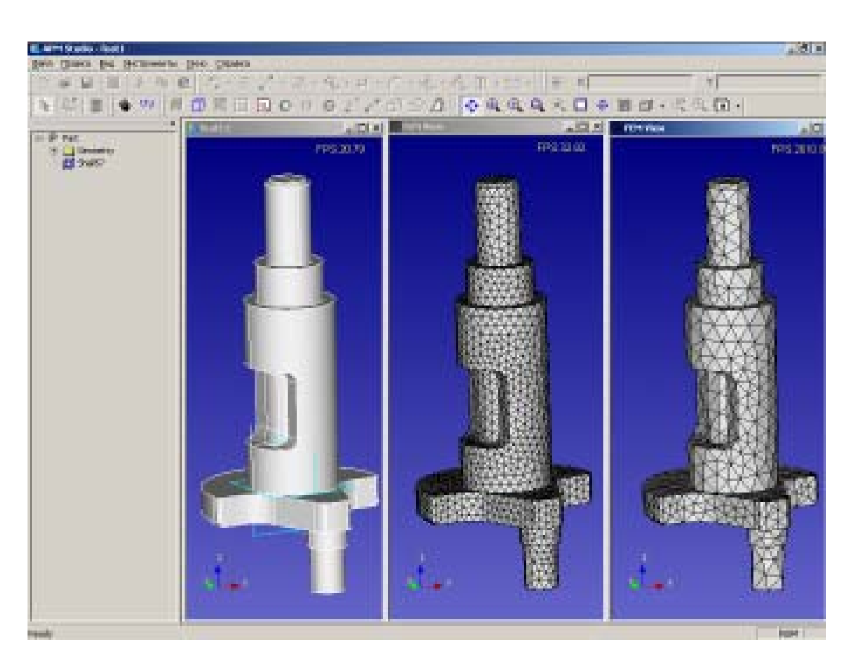
«модуль твердотельного и поверхностного моделирования»

### APM Studio - модуль трехмерного моделирование объектов

Модуль APM Studio предназначен для проектирования объектов в трехмерном пространстве с использованием поверхностных и твердотельных моделей. Он является базовым инструментом Системы APM WinMachine. APM Studio был создан на собственном геометрическом ядре - APM Engine, разработанном в НТЦ АПМ. В свой состав модуль включает встроенные генераторы конечно-элементной сетки. Это позволяет импортировать модель с нанесенной конечно-элементной сеткой в расчетный модуль APM Structure3D, где можно произвести все необходимые прочностные расчеты.

### Назначение модуля

- Моделирование конструкции объектов с целью создания рабочей конструкторской и технологической документации.
- Автоматическая генерация конечно-элементной сетки на выполненных моделях, и дальнейший импорт этих моделей в расчетный модуль APM Structure3D.



*Модель вала, выполненная в APM Studio, и пример генерации конечно-элементной сетки*

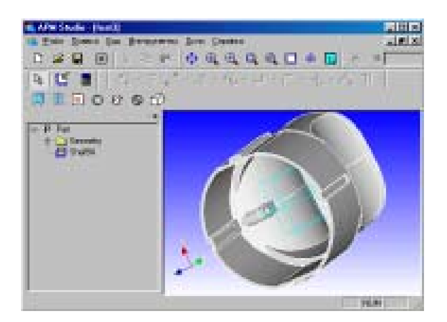
### Возможности модуля...

*Моделирование в APM Studio*

Конечным результатом работы в APM Studio являются поверхностные и твердотельные объекты, созданные с помощью трёхмерного моделирования.

Одним из основополагающих объектов пространственного моделирования является **эскиз** (**sketch**). Эскиз может быть как одной из ортогональных координатных плоскостей, так и произвольной плоскостью в пространстве. Все плоские построения выполняются в эскизе. При этом применяются следующие функции: отрисовка линий, окружностей, дуг,

многоугольников, простановка фасок и скруглений, усечение, выравнивание по границе, смещение, копирование, перемещение, зеркальное отображение, создание массивов - прямоугольного и кругового, поворот объектов.



*Поверхности*

Поверхности создаются с помощью операций над плоскими кривыми, подготовленными в эскизах. В APM Studio возможно формирование следующих поверхностей: выталкивания по нормали и по произвольной кривой, вращения, контурной плоскости, криволинейных поверхностей заданием произвольных поперечных сечений.

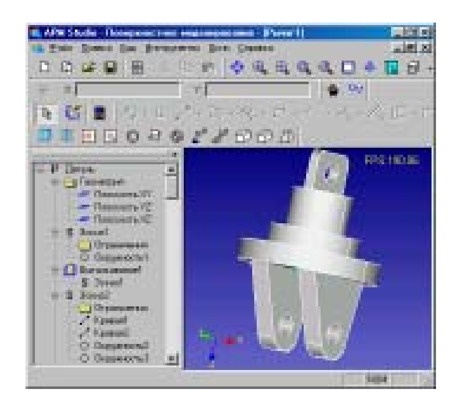
Для создания более сложных поверхностей можно использовать следующие операции над готовыми поверхностями: пересечение, скругление, простановка фасок, сшивка.

*Интерфейс APM Studio*

Внешний интерфейс APM Studio можно разделить на пять областей: главное меню, рабочее окно, панели инструментов, окно дерева операций и строка состояния.

*Дерево операций*

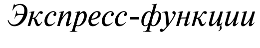
В дереве операций отображаются все объекты, созданные пользователем в APM Studio. Корнем дерева операций является **Деталь**. Самым первым элементом дерева операций располагается узел **Геометрия**. Он содержит координатные плоскости, которые можно выбирать в качестве плоскостей эскизов. Далее идут сами объекты: эскизы, кривые, поверхности. Каждая поверхность, нарисованная в APM Studio, обозначается в дереве операций узлом. Находясь в режиме выбора нужные элементы можно выбирать из дерева операций, и выполнить над ними последующие операции: удаление модификация, выбор и т .д.



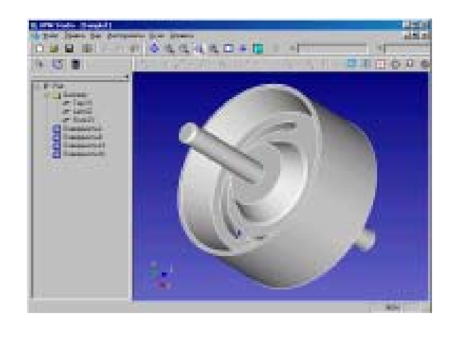
*Окно редактирования*

Окно редактирования является основным окном для модификации и отображения операций, сделанных в APM Studio. Для ориентации обектов в пространстве вводиться глобальная ортогональная система координат.

Окно отображения имеет два режима – режим редактирования эскиза и режим редактирования поверхностей.

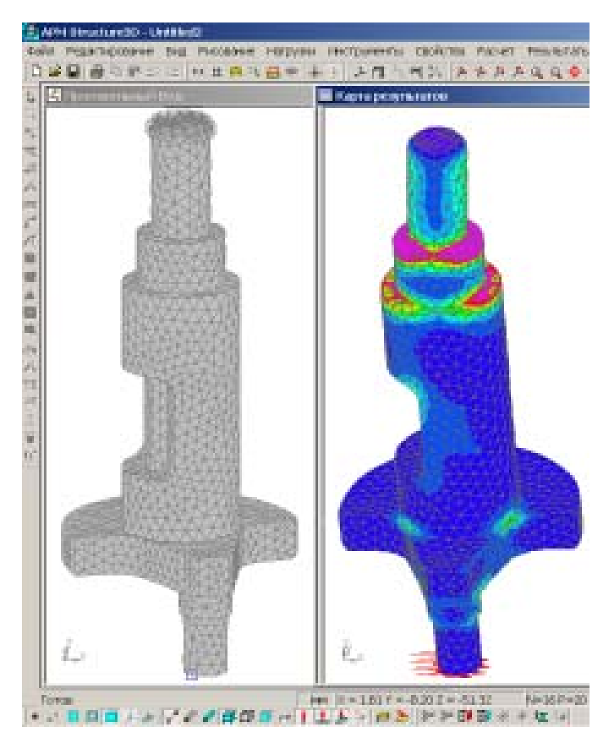


*Экспресс-функции*



При работе в редакторе APM Studio некоторые операции вызываются наиболее часто и доступ к ним через меню или панели инструментов бывает иногда неудобен. Среда редактирования APM Studio содержит экспресс-функции, вызываемые с помощью клавиш мыши и клавиатуры, необходимые для перемещения и вращения вида, динамического изменения масштаба.

При создании какой-либо кривой в случае необходимости можно вызвать объектную привязку, которая нужна только для конкретного случая, которая получила название **локальная привязка**.



Система контекстных меню для различных случаев редактирования объектов развита достаточно широко.

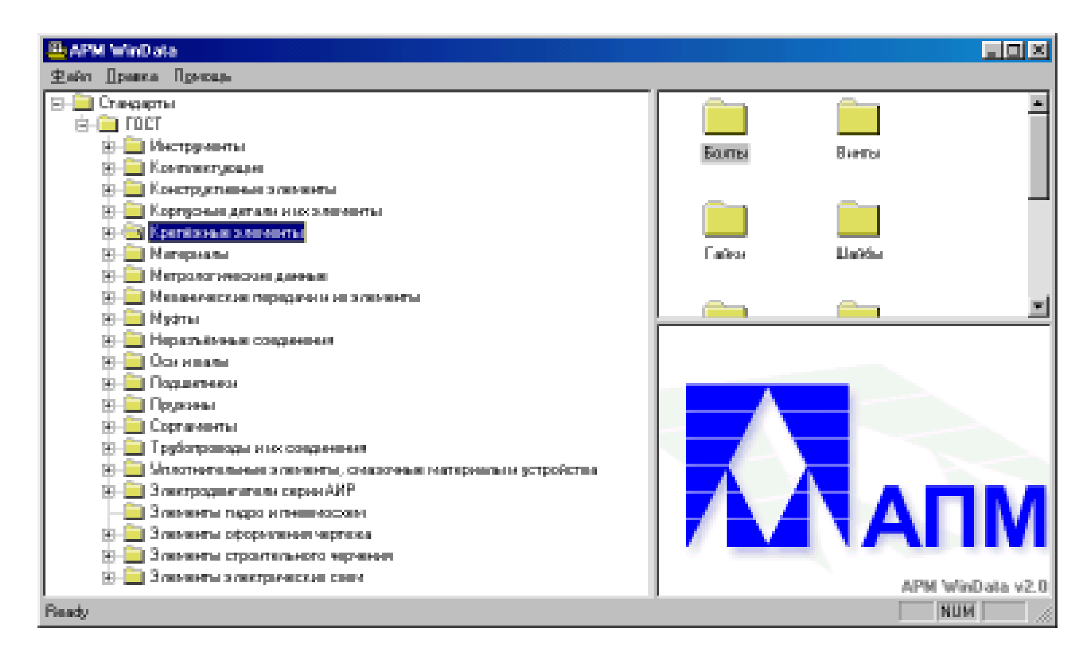
*Связь с APM Structure3D*

Как было сказано выше, APM Studio представляет собой также мощный инструмент создания объектов для конечно-элементного анализа в модуле APM Structure3D**.** Для создания конечно-элементного представления объекта в APM Studio имеется функция генерации конечно-элементной сетки, при вызове которой происходит соответствующее разбиение объекта с заданным шагом. Модуль APM Structure3D позволяет импортировать созданную и разбитую на конечные элементы объемную модель, подготовить ее к расчету и произвести сам расчет с целью определения ее напряженно-деформированного состояния.

# APM Data

«модуль хранения и редактирования стандартных
и информационных данных»

*Высокий уровень автоматизации проектирования позволяет существенно повысить скорость разработки проекта за счет использования баз данных. Обычно при проектировании нового оборудования используются детали и узлы предыдущих разработок, а также стандартные элементы. Для реализации этих возможностей необходимо обеспечить хранение и быстрый обмен конструктивными решениями предыдущих разработок и стандартов. Эту функцию в системе APM WinMachine выполняет информационно-графическая база данных APM Data. Она оформлена в виде отдельного модуля и предназначена для эффективной подготовки конструкторской документации за счет применения имеющихся в ней параметрических моделей типовых стандартных деталей и узлов.*




*Общий вид окна модуля APM Data*

База данных *APM Data* условно разделена на две части - информационную и графическую. В информационной базе содержатся числовые значения, характеризующие свойства материалов, величины допусков и посадок, чистота обработки поверхности, а также кинематические, энергетические, геометрические и другие характеристики, необходимые для функционирования других модулей системы APM WinMachine и для получения сведений, требующихся для принятия конструкторских решений.

В графической базе данных размещена геометрическая и цифровая информация, позволяющая выполнить чертежи стандартных деталей, узлов, различных комплектующих и т. д. С ее помощью можно автоматизировать процедуру оформления чертежей, заполнить штамп и спецификацию и т. д. Графическая база данных функционирует совместно с редактором APM Graph. Все модели, которые размещены в базе, представлены в параметрическом виде. Такая форма представления позволяет легко модифицировать объекты как численно, так и с использованием аналитических зависимостей.

В состав APM Data входят следующие разделы:

- машиностроительные детали общего назначения;
- конструктивные элементы;
- сортаменты;
- материалы;
- нормальные размеры;
- точность изготовления, чистота обработки, допуски и посадки;
- электрические двигатели;
- элементы оформления чертежей;
- библиотека инструментов для механообработки
- элементы гидро- и пневмосхем;
- элементы строительного черчения;
- элементы электрических схем
- строительная библиотека.

Раздел «Машиностроительные детали общего назначения» включает модели и таблицы численных параметров болтов, винтов, валов, втулок, гаек, корпусов редукторов, крышек подшипников, маслоуказателей, передач вращения, стаканов, шайб, шлицев, шплинтов, шпонок, штифтов, шурупов и т. д.

Под конструктивными элементами понимается вся совокупность стандартных размеров для отрисовки канавок, проточек, галтелей и т. п.

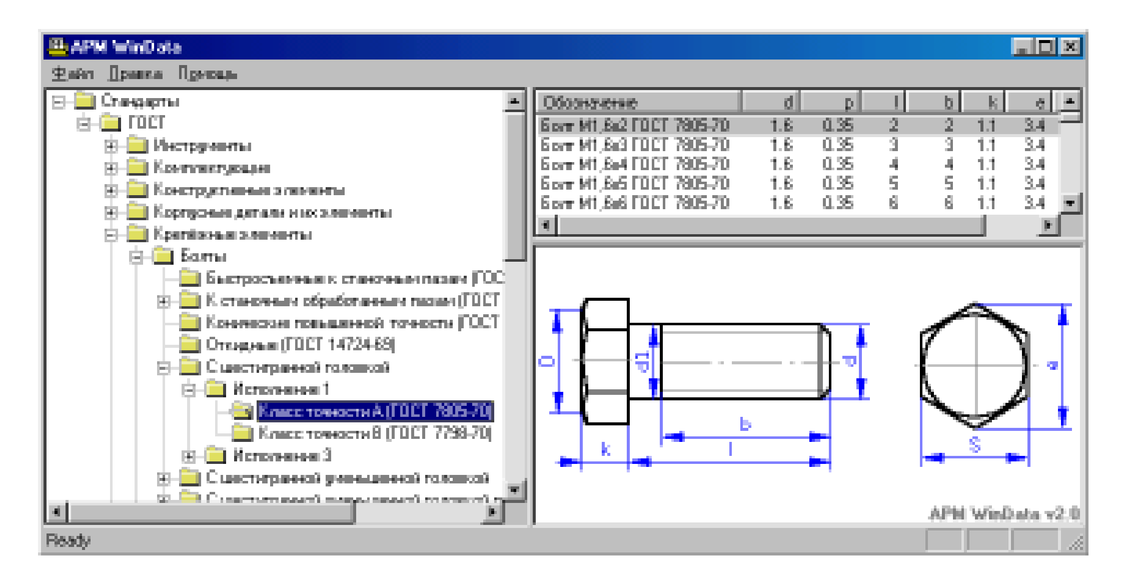
В раздел «Сортаменты» включены поперечные сечения прокатных профилей, выпускаемых в России. Отметим также, что сложные профили можно получить комбинацией простых с помощью графического редактора APM Graph. Если же необходимый конструктору профиль отсутствует в базе, то его можно либо экспортировать из стороннего графического редактора, либо самостоятельно создать в APM Graph.

В базе данных приведена достаточно обширная информация по механическим характеристикам материалов. Количество записей в этом разделе давно перевалило за тысячу.

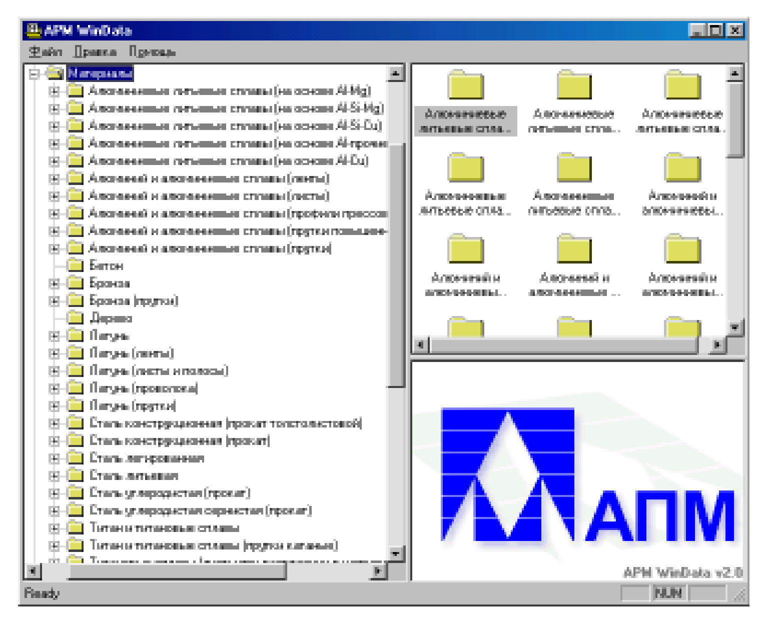
В разделе»Нормальные размеры»даны таблицы нормальных линейных и угловых размеров, а также параметры конусности. Выбор ведется из нормальных рядов со знаменателями Ra5, Ra10, Ra20, Ra40.

В разделе «Точность изготовления, чистота обработки, допуски и посадки» хранится информация метрологического содержания.

В разделе »Электрические двигатели» собрана графическая и цифровая информация по двигателям серии АИР различных вариантов исполнения. С использованием этого раздела базы можно выполнить чертежи разных проекций двигателя в произвольном масштабе.




*Фрагмент раздела “Крепежной детали”*



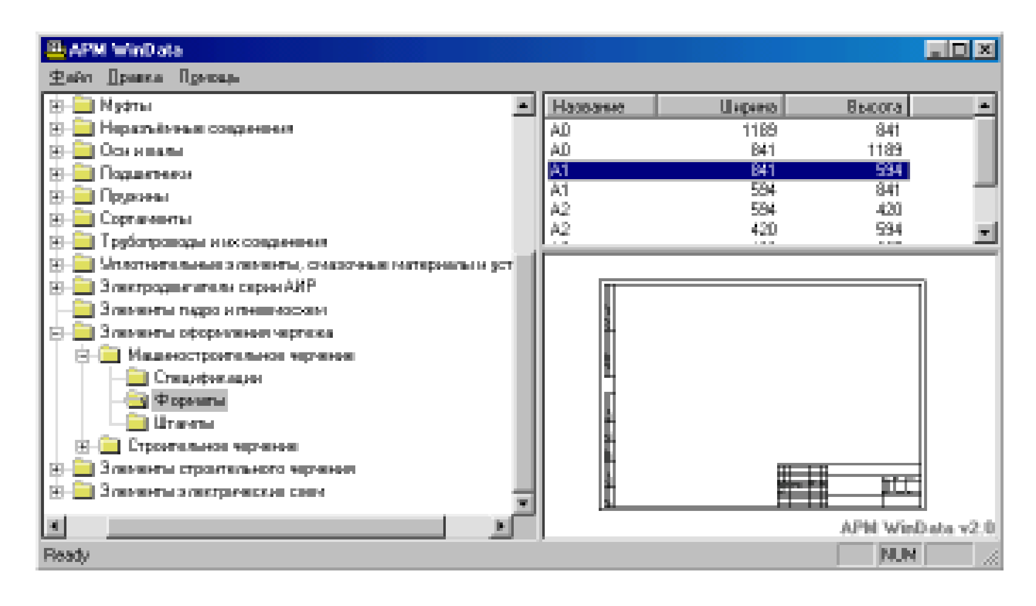

*Фрагмент раздела “Материалы”*

Разделы, посвященные элементам электрических, гидравлических и пневматических схем, содержат условные обозначения тех элементов, из которых может быть собрана вся совокупность возможных специализированных схем. На чертежах эти схемы удобно размещаются и масштабируются.

Форматы, штампы, спецификации и другие атрибуты, необходимые для оформления технической документации, размещены в разделе «Элементы оформления чертежей».

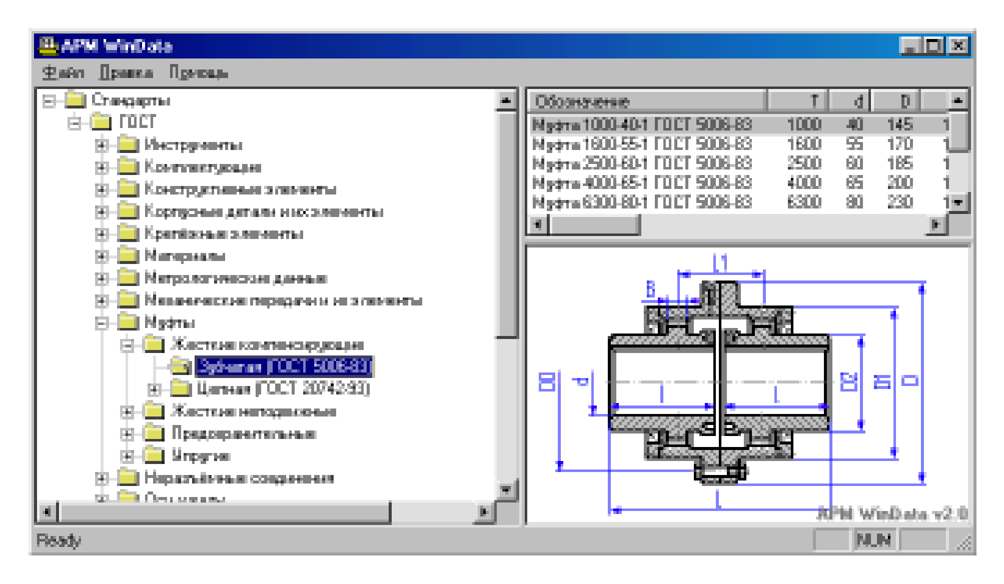
В элементы строительного черчения включено условное обозначение сантехнического, электротехнического и вентиляционного оборудования, а также условные обозначения элементов зданий и сооружений. Эти обозначения выполнены в параметрическом виде, который легко модифицируется и масштабируется.

Следует отметить, что APM Data представляет собой тот фундамент, без которого невозможно функционирование системы APM WinMachine в целом, так как в ней содержится информация, необходимая для нормальной работы всех остальных входящих в состав APM WinMachine модулей.




*Раздел “Элементы оформления чертежа”*

APM Data построена таким образом, что в ней можно хранить несколько стандартов. В настоящий момент APM Data поддерживает ГОСТы и некоторые СНиПы. Что касается других стандартов, то они формируются партнерами НТЦ АПМ, которые осуществляют




*Фрагмент раздела “Муфты”*

продажу программных продуктов под маркой APM WinMachine за рубежом. Кроме того, пользователь системы APM WinMachine по желанию может самостоятельно сформировать, например, стандарт предприятия или же отраслевой стандарт, который необходим для ускорения оформления конструкторской документации.

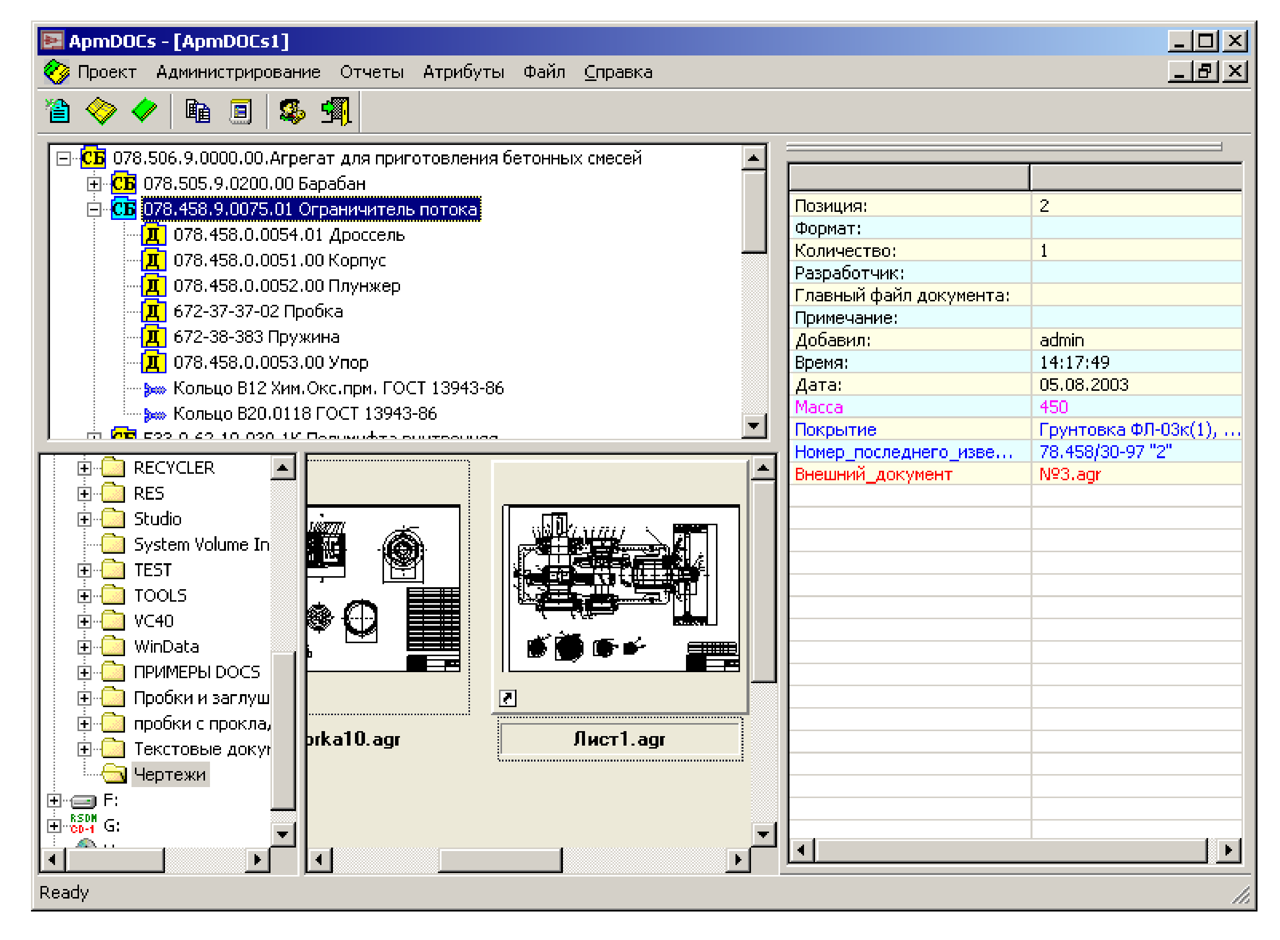
# APM DOCs

«система технического документооборота»

*Активная работа над большими или средними проектами приводит к огромному количеству информации, которую следует каким-либо образом систематизировать для дальнейшей работы с ней. Часто, при работе с проектом возникают ситуации, когда необходимо помимо основных направлений сохранять и альтернативные решения. Ряд этих и других проблем призван помочь решить комплекс для автоматизации работы с конструкторскими и другими данными* ***APM DOCs****.*

Модуль APM DOCs содержит ряд механизмов для автоматизации работы с конструкторской документацией. Одной из важнейших идей в огрганизации проекта является представление связей между определенными элементами проекта в иерархическом виде.

Результатом работы с системой является построение проекта, отображением которого является структура типа дерево, полученная руководствуясь связью накладываемой структурой изделия. Каждый элемент полученного дерева отображает либо деталь, либо сборку, либо стандартное изделие, и может хранить соответствующую только ему информацию и набор атрибутов. Вся информация, хранящаяся в проекте, хранится в базе данных проекта и может быть просмотрена из системы по запросу пользователя.




*Основное окно модуля APM DOCs*

Полученный файл проекта сохраняется на жестком диске в формате используемой системы управления базой.

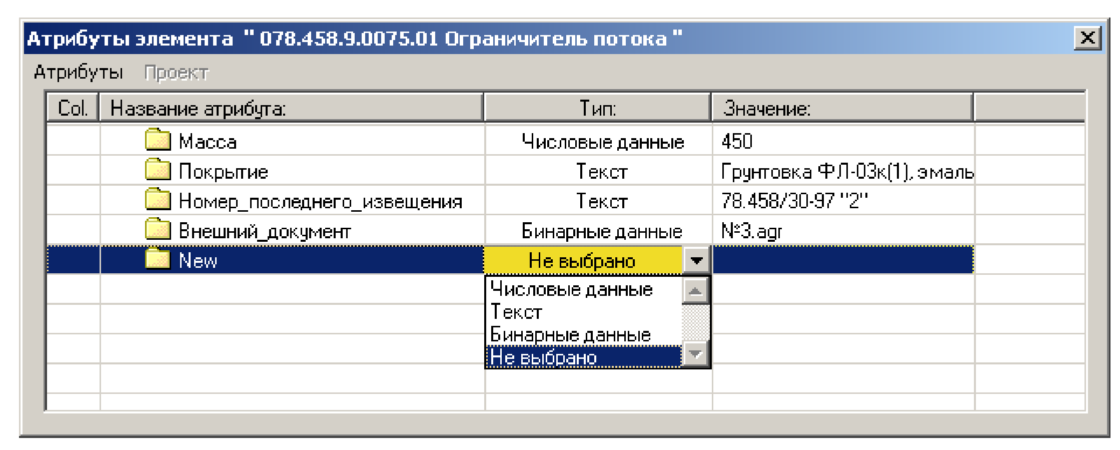
## Генерация спецификации

Очевидным плюсом системы является возможность генерации спецификации непосредственно на готовый и корректно оформленный чертеж. Полученная спецификация сохраняется в формате APM Graph.(*.agr) На основе полученной спецификации на чертеж возможно автоматическое внесение изменений в структуру проекта.

## Работа с атрибутами

*Пример спецификации, автоматически созданной модулем APM DOCs*

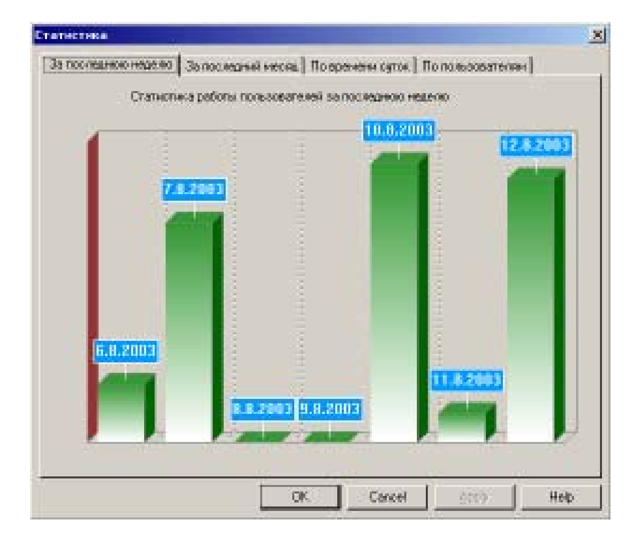
Атрибут – характеристика элемента, которая, в общем случае, не является необходимой для работы со спецификациями, но предоставляет широкие возможности для работы с дополнительной конструкторской, экономической и иной документацией.



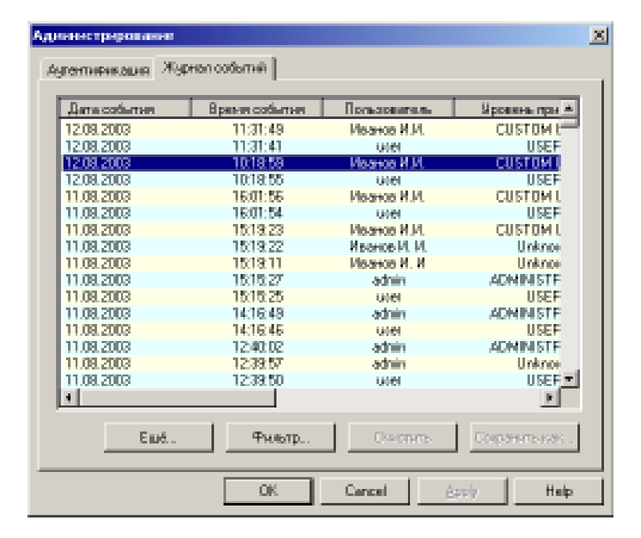

*Диалоговое окно Атрибутов элемента*

## Администрирование

В рамках организованного в системе администрирования возможна работа различных пользователей с одним проектом. Пользователям предоставляются различные права в




*Статистика работы с проектом*




*Окно просмотра журнала событий*

системе. Также осуществляется ведение журнала событий, в котором перечисляются действия, произведенные пользователем.

Для полноценной работы всех функций необходимы модули **APM Graph** и **APM Data**.

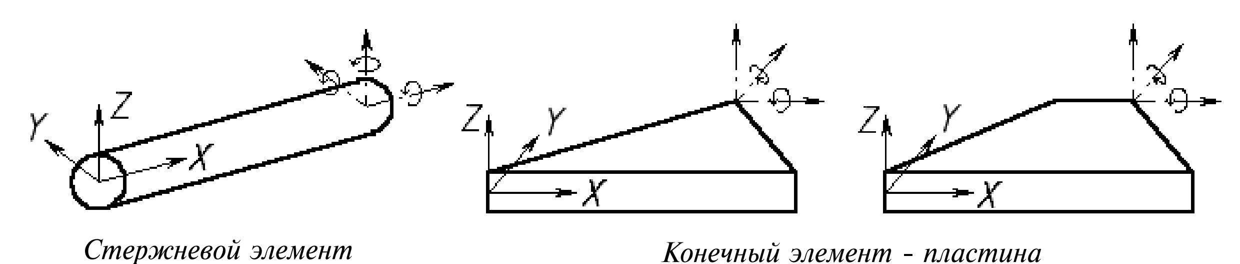
# ИНСТРУМЕНТЫ КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОГО АНАЛИЗА В СИСТЕМЕ APM WINMACHINE

Метод конечных элементов является наиболее перспективным численным методом, позволяющим производить анализ напряженно-деформированного состояния сложной конструкции. С его использованием можно достаточно точно описать как геиметрию конструкции так и характер приложенных к ней нагрузок и свойства материала конструкции.

Ключевая идея метода заключается в том, что при анализе сплошная среда моделируется разбиением ее на конечные области (элементы), в каждой из которых поведение этой среды описывается с помощью отдельного набора выбранных функций, представляющих собой перемещения в указанной области. Эти функции задаются в такой форме, чтобы они удовлетворяли условиям непрерывности описываемых ими характеристик во всей среде.

Если конструкция в целом неоднородна и состоит из большого количества отдельных конструктивных элементов, каждый из которых описывается своим дифференциальным уравнением, то метод конечных элементов является, по сути, единственным методом, позволяющим рассчитать напряженное состояние конструкции, динамику, устойчивость и другие характеристики любой детали при произвольном нагружении и закреплении.

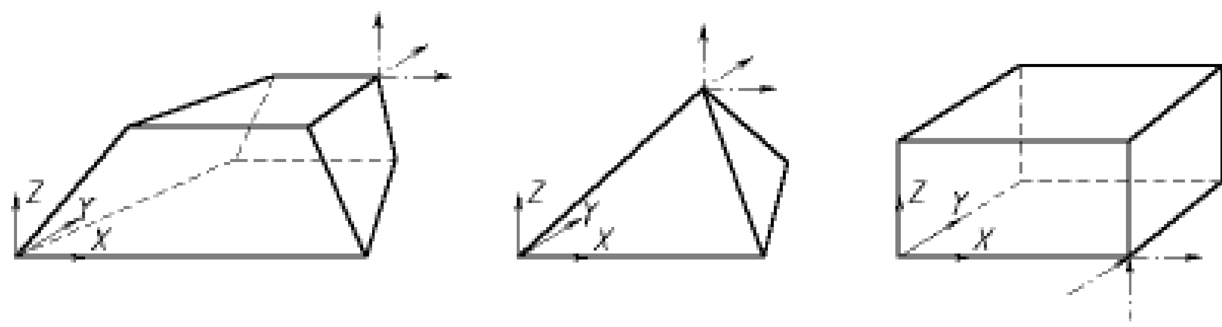
Основными типами конечных элементов которыми оперируют модули Системы APM WinMachineявляются: стержневой (простой фермовый); пластинчатый (плоско-напряженный) и




*Стержневой элемент* *Конечный элемент - пластина*

трехмерный объемный (сплошной). Первые два типа могут быть изгибаемыми осесимметричными и изгибаемыми пластинчатыми.

Основным конечным элементом при условии плоского напряженного состояния является пластина, которая может иметь треугольную и четырехугольную формы. С помощью этих элементов решается много прикладных задач проектирования. Пластины используются также для описания оболочек и тонкостенных элементов.



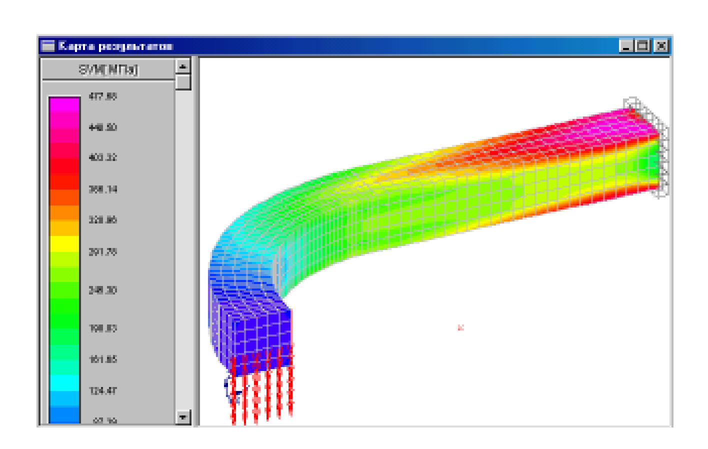

*Сплошные объемные конечные элементы*

Сплошные объемные трехмерные элементы необходимы для описания трехмерного плоско-напряженного состояния. Наиболее распространенными формами трехмерных элементов, позволяющими анализировать почти любые прикладные трехмерные задачи, являются тетраэдр и параллелепипед.

В настоящем пакете программ в качестве конечных элементов используются стержневой элемент, каждый из двух узлов которого имеет шесть степеней свободы, изгибаемая пластина (3-х и 4-х угольная) с шестью степенями свободы в каждом узле и твердотельный восьмиузловой изопараметрический конечный элемент с тремя степенями свободы.

Таким образом, задача расчета напряженно-деформированного состояния конструкции сводится к следующему.

Прежде всего проводится разбиение этой конструкции на конечные элементы. Взаимодействие конечных элементов друг с другом осуществляется через их узлы по определенным законам, причем описывающие эти законы уравнения различны для различных типов конечных элементов.

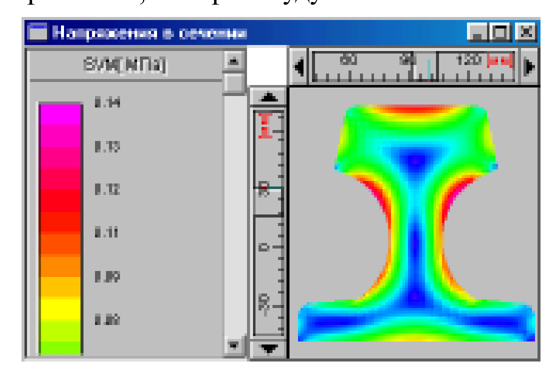



*Распределение напряжений в криволинейной балке, смоделированной объемными конечными элементами*

С учетом выбранного типа конечного элемента формируется матрица жесткости как отдельного конечного элемента так и конструкции в целом.

В конечном итоге матрица жесткости сводится к системам алгебраических уравнений. Эти уравнения дополняются законами, описывающими воздействующие внешние силы, а также заданными ограничениями на перемещения отдельных частей конструкции (опоры).

Совместным решением полученных систем уравнений можно найти величины перемещений и напряжений, которые будут иметь место в каждом из конечных элементов конструкции. Дальнейшим суммированием результатов от отдельных конечных элементов определяется и общая деформация конструкции в различных направлениях, и деформации отдельных ее элементов, и возникающие внутренние напряжения в любых ее частях.




*Распределение напряжений в сечении стандартного профиля*

Типичная картина распределения величины напряжений, полученная с помощью метода конечных элементов, приведена выше. Для наглядности величины напряжений показываются в виде цветовой гаммы.

Ниже представлено краткое описание модулей Системы APM WinMachine, реализующих метод конечных элементов.

# APM FEM2D

«модуль конечно – элементного анализа плоских деталей»

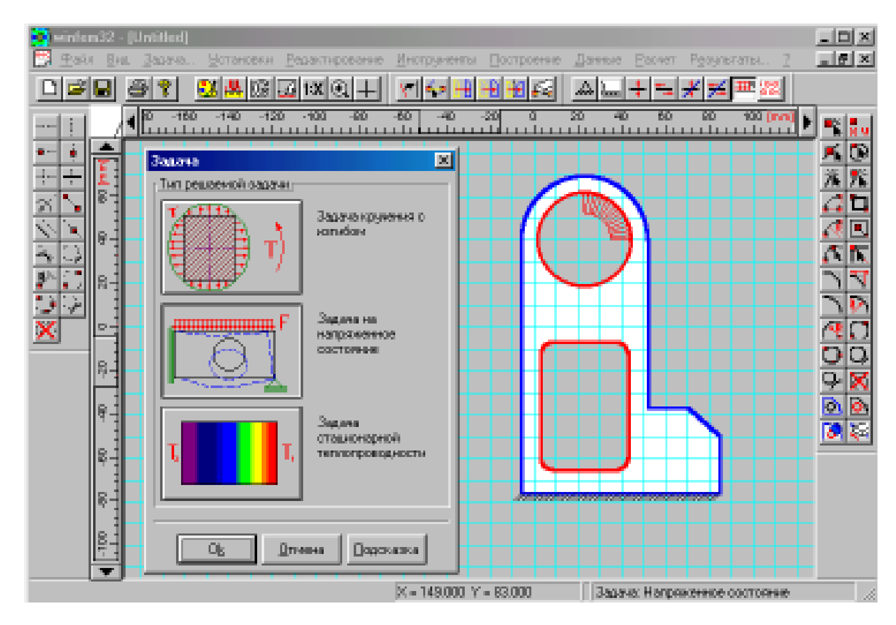
*Метод конечных элементов представляет собой мощный и универсальный инструмент для анализа напряженно-деформированного состояния деталей и решения ряда других задач механики и теплопроводности. Модуль APM FEM2D позволяет выполнить расчеты методом конечных элементов плоских объектов. Это универсальный инструмент для расчета напряженного и деформированного состояний плоских деталей при произвольном нормальном и касательном нагружении и для расчета тепловых полей плоских деталей.*

### Круг задач, решаемых с помощью APM FEM2D

APM FEM2D позволяет выполнить:

- расчет напряженного состояния плоских деталей в условиях плоского и нормального нагружений;
- расчет деформированного состояния плоских деталей при произвольном нагружении;
- решение задачи кручения стержня, нагруженного изгибающим моментом и системой поперечных сил;
- расчет температурного поля в условиях стационарной теплопроводности.

### Графический редактор модуля APM FEM2D



*Задание модели пластины и выбор типа решаемой задачи*

В состав модуля APM FEM2D входит графический редактор, с помощью которого пользователь задает геометрию объекта, вводит приложенные к нему нагрузки и размещает закрепления. Редактор содержит широкий набор примитивов и геометрических операций, которые позволяют задать объект любой степени сложности. Нагрузки и закрепления могут быть как сосредоточенными, так и распределенными;

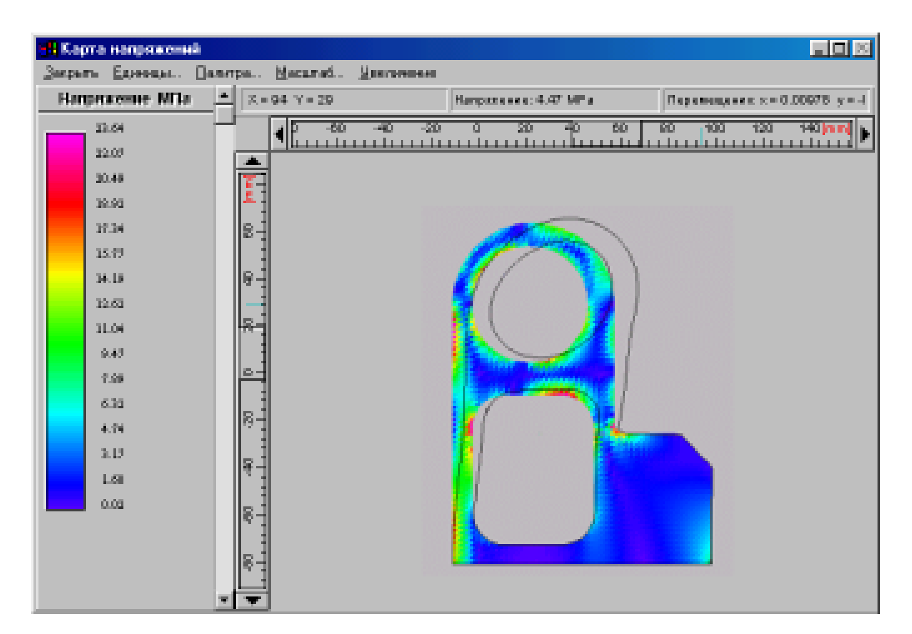
приложены как в плоскости расположения детали, так и в нормальной к ней. При этом допускаются как плоские перемещения плоской пластины, так и пространственные.

### Автоматическая генерация разбивки

В APM FEM2D реализована автоматическая разбивка на конечные элементы треугольной или четырехугольной формы для плоских объектов любой сложности.

### Наглядные средства представления результатов

Полученные результаты могут быть представлены либо в табличной, либо в графической формах — в виде графиков распределения деформаций и перемещений, полей температур.




*Карта напряженно-деформированного состояния пластины*

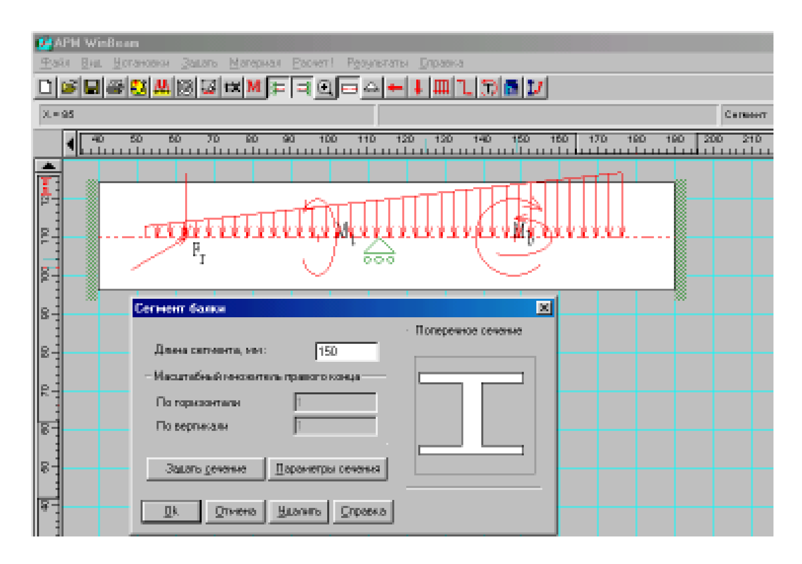
Модуль прост в использовании и для работы с ним не требуется специальной подготовки пользователя. По этой причине он доступен для пользователей, не имеющих навыков работы на компьютере.

Этот модуль можно рекомендовать для расчета простых деталей и для студентов технических вузов при изучении курсов “Сопротивление материалов” и “Теория упругости”.

# APM Beam

«модуль проектирования балочных конструкций»

*Балка представляет собой брус произвольного поперечного сечения, размеры которого значительно меньше длины бруса. Основным видом напряженного состояния балочных конструкций в большинстве случаев является изгиб. Это не означает, однако, что при этом не допускаются другие виды нагружения, но для балочных конструкций они скорее исключение. При проектировании таких конструкций важно определить напряженно - деформированное состояние балки и рассчитать ее динамические характеристики, что оказывается возможным для заданной геометрии. Кроме того, важными параметрами являются реакции в опорах, которые необходимы для расчета и проектирования сопряженных с балкой деталей.*




*Создание модели балки и задание ее поперечного сечения*

Модуль APM Beam предназначен для выполнения комплексного проверочного расчета балки в условиях произвольного нагружения. При этом балка может состоять из участков длины с переменным поперечным сечением.

### Возможности модуля APM Beam

С помощью APM Beam можно рассчитать следующие параметры балки:

- реакции в опорах;
- распределение моментов и углов изгиба по длине балки;
- распределение моментов и углов поворота при кручении;
- распределение поперечных и продольных деформаций;
- распределение эквивалентных напряжений;
- распределение поперечных сил;
- карты напряжений в любом произвольном сечении по длине балки;
- частоты собственных колебаний.

Кроме того, результаты расчетов дают возможность построить графики собственных форм балки.

### Специализированный графический редактор

Специализированный графический редактор APM Beam задания балок и их поперечных сечений используется на этапе подготовки исходных данных для дальнейших расчетов. Редактор, имеющий полный набор всех необходимых процедур, предоставляет пользователю удобные средства для:

- задания и редактирования поперечного сечения участка балки;
- ввода нагрузок, действующих на балку;
- вида опор и их местоположения;
- задания внешних масс и моментов инерции в случае расчета поперечных и крутильных колебаний балочных конструкций.

При вводе параметров можно воспользоваться услугами как встроенного графического редактора, так и модуля APM Graph. А также единой базой данных APM Data.

Графический редактор прост в обращении, в нем полностью сохранена преемственность с другими продуктами, разрабатываемыми Центром АПМ.

### Методы решений

При выполнении проверочных расчетов используются комбинированные методы.

Расчет перемещений выполняется энергетическим методом, который известен еще как метод Мора.

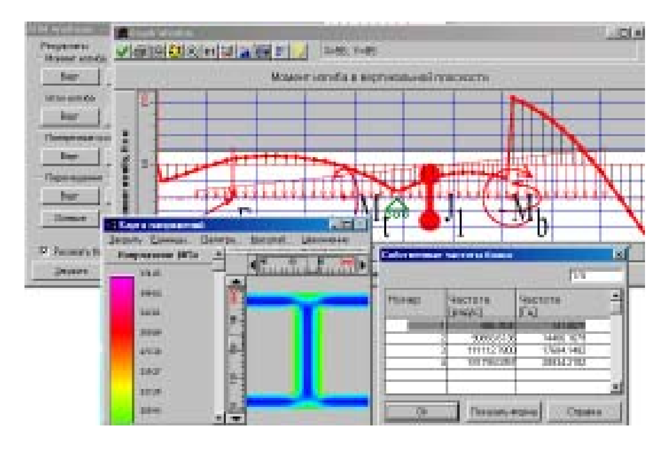
Раскрытие статической неопределимости, если таковая имеется, проводится методом сил, при этом коэффициенты канонических уравнений метода сил рассчитываются с использованием интегралов Мора.

Расчет напряжений кручения в поперечном сечении ведется методом конечных элементов, а напряжений изгиба и сдвига — методом момента инерции. При выполнении расчетов методом конечных элементов разбивка на треугольные конечные элементы выполняется автоматически.

Величины эквивалентных нормальных и касательных напряжений рассчитываются по энергетической теории прочности.

### Результаты расчета

Модуль APM Beam позволяет выполнить комплексный расчет балки и в случае необходимости подобрать наиболее подходящее для нее поперечное сечение. Кроме того, в модуле имеется возможность провести методом начальных параметров комплекс динамических расчетов, предусматривающий определение частот собственных колебаний и собственных форм балки.

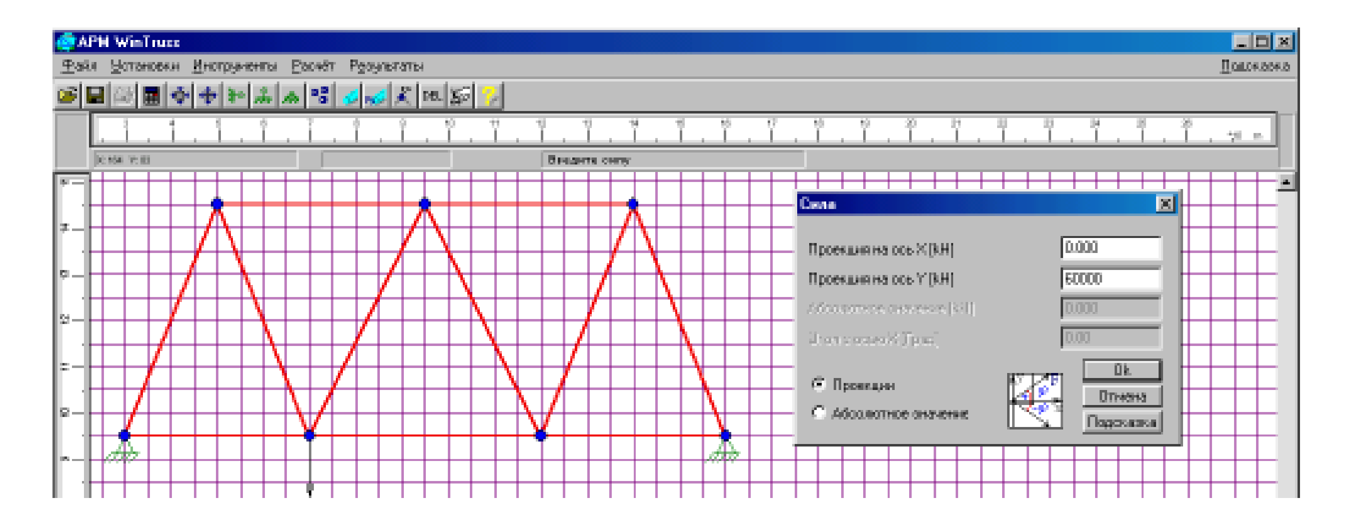


*Представление результатов расчета*

# APM Truss

«модуль расчета ферменных конструкций»

*Детали машин и строительные конструкции часто можно представить в виде набора стержней, соединенных шарнирами. Подобные конструкции называются* ферменными. *Стержни, входящие в состав таких конструкций, не подвергаются сдвигу и испытывают только сжатие или растяжение. Практика показывает, что многие реальные объекты могут быть адекватно описаны с помощью ферменных моделей. Наиболее простым способом рассчитываются плоские фермы. Следует отметить, что большинство трехмерных ферм может быть сведено к двумерным.*




*Фрагмент специализированного графического редактора модуля APM Truss*

### APM Truss — модуль для расчета ферм

Модуль APM Truss предназначен для расчета методом конечных элементов ферменных конструкций. С помощью APM Truss можно рассчитать напряжения и деформации элементов ферм, что дает возможность выбрать оптимальное сечение стержней фермы. Кроме того, APM Truss позволяет получать равнопрочные конструкции, что очень важно с точки зрения экономии материала и снижения себестоимости конструкции в целом.

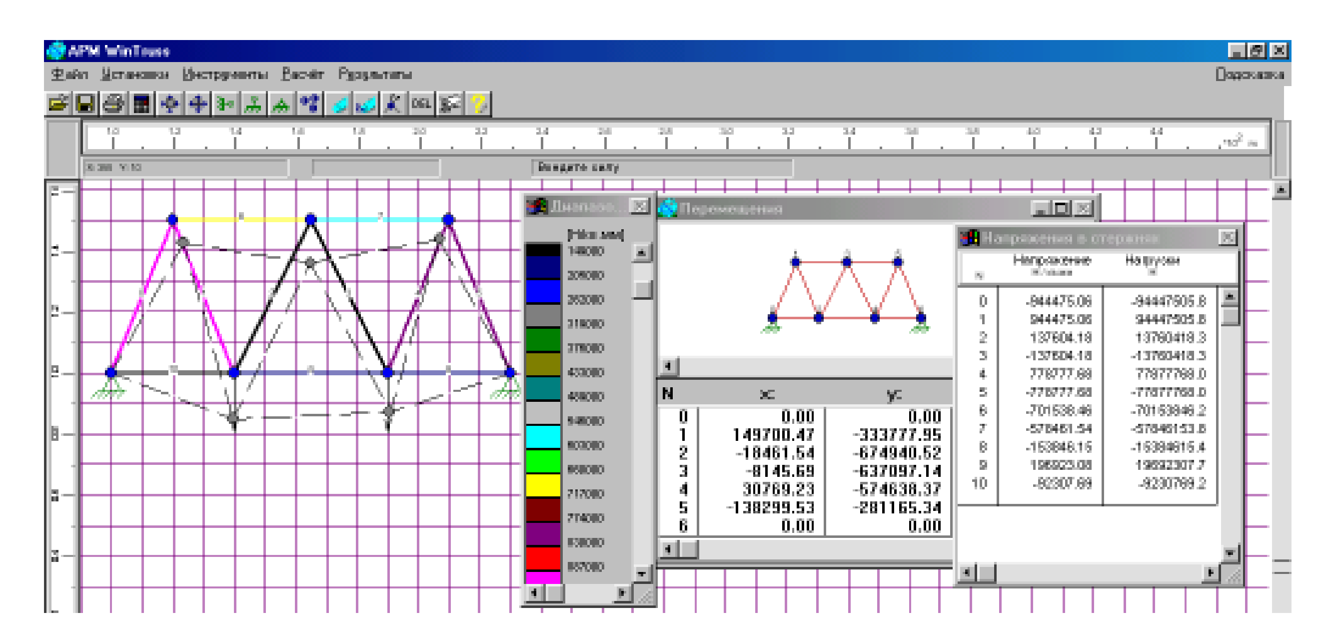
### Редактор для ввода данных

APM Truss включает в себя простой в использовании специализированный графический редактор. С его помощью пользователь может быстро изобразить на экране конструкцию, которую необходимо рассчитать, разместить опоры и связи, а также нагрузки, действующие на элементы фермы.

### Представление результатов

Результаты расчетов могут быть представлены в табличной форме, а также в виде графиков исходного и деформированного состояний фермы. Исходные данные и результаты

вычислений могут быть сохранены в архивных файлах, что позволяет формировать библиотеку ферменных конструкций.




*Результаты расчетов. В левой части экрана показаны исходное и деформированное состояния фермы (вдоль стержней проставлены значения напряжений). В расположенных справа окнах приведены смещения, напряжения и нагрузки.*

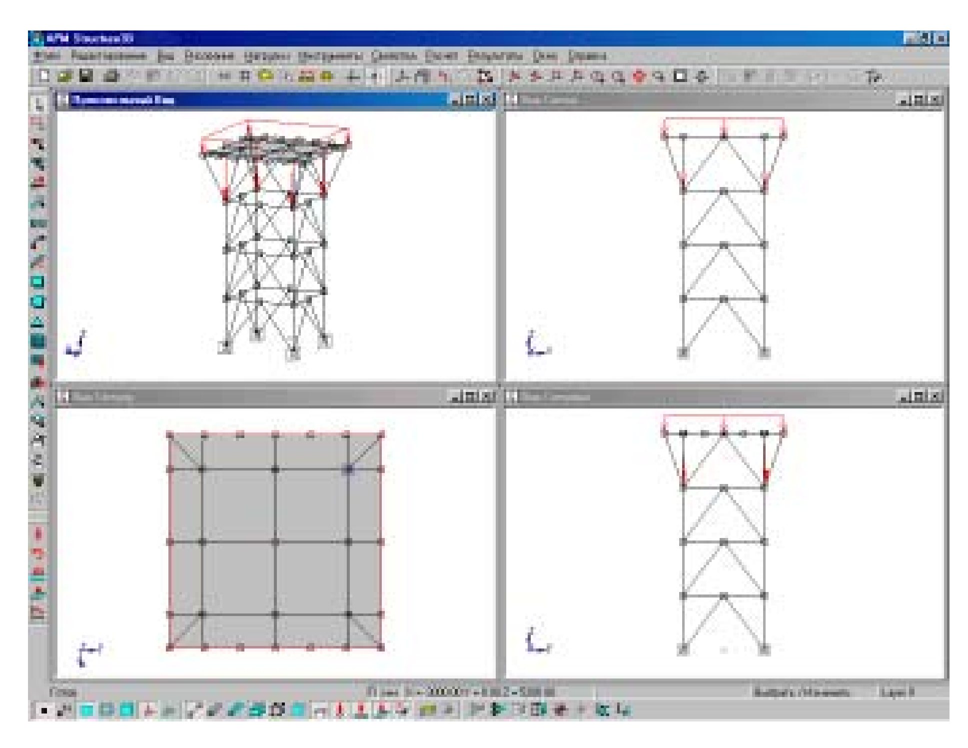
Модуль APM Truss адресован конструкторам и инженерам, занятым проектированием металлоконструкций в машиностроении и строительстве. APM Truss может быть также полезен студентам, изучающим курсы строительной механики, сопротивления материалов и металлических конструкций.

# APM Structure3D

«модуль расчета напряженно–деформированного состояния, устойчивости и динамики деталей и конструкций»

*Модуль APM Structure3D предназначен для комплексного анализа трехмерных конструкций. В нем могут быть рассчитаны стержневые, тонкие пластинчатые и объемные твердотельные конструкции, а также их произвольные комбинации. Таким образом имеется возможность расчета всевозможных строительных и машиностроительных конструкций и их элементов.*

*Под комплексным анализом понимается расчет напряженно - деформированного состояния перечисленных объектов произвольной геометрической формы при произвольном нагружении и закреплении, а также ряд других расчетов. Анализ полученных результатов позволяет выбрать наилучшие конструктивные решения.*



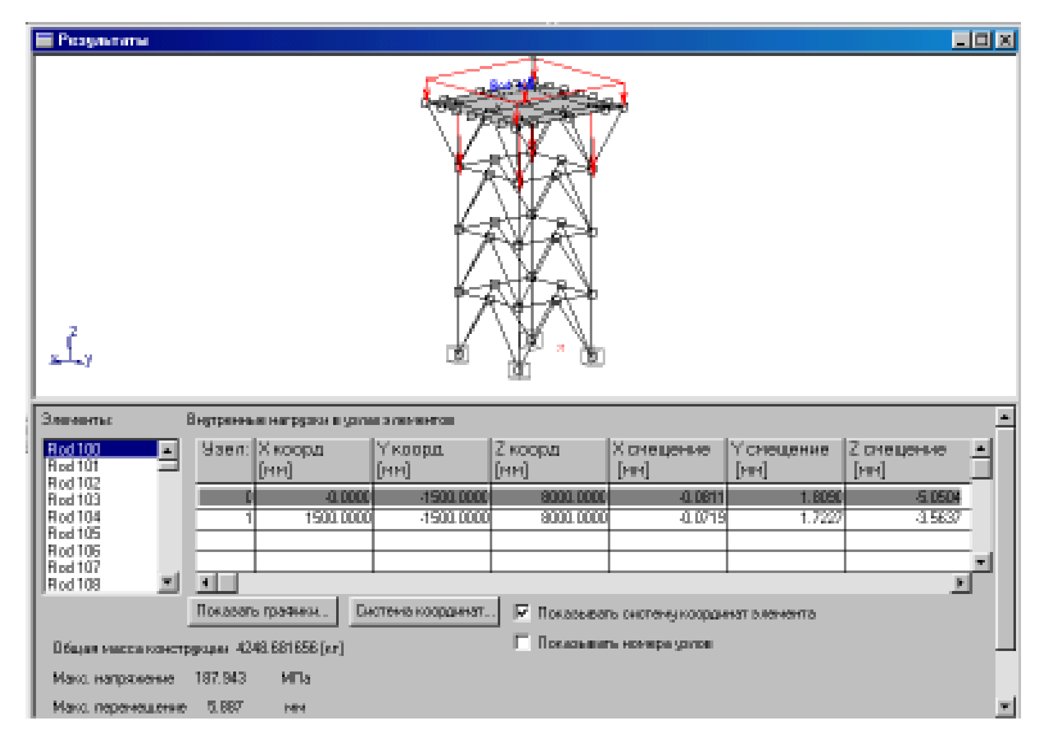
*Общий вид окон редактора с моделью вышки*

**Возможности APM Structure3D**

Модуль APM Structure3D предназначен для расчета напряженно - деформированного состояния стержневых, пластинчатых, оболочечных и твердотельных конструкций, а также любых их комбинаций. APM Structure3D организован таким образом, что в его рамках можно рассчитать все многообразие существующих конструкций, собирая их из вышеперечисленных макроэлементов. Конструкции и их элементы могут быть импортированы в редактор конструкций через DXF формат из 2D и 3D графических редакторов. Внешняя нагрузка, также как и условия закрепления конструкции, могут быть произвольными как по характеру, так и по местоположению.

## Методы расчета

Расчет напряженно-деформированного состояния конструкций выполняется ***методом конечных элементов.*** При необходимости применяются также другие методы строительной механики, адекватные поставленным выше задачам. Число конечных элементов и, следовательно, время расчета устанавливается пользователем. Общее количество конечных элементов ограничено исключительно возможностями Вашей компьютерной техники.




*Окно просмотра результата расчета нагрузок элементов конструкции*

Разбивка на конечные элементы выполняется в полуавтоматическом режиме. В результате такой разбивки, в случае необходимости, можно внести поправки в режиме ручного ввода.

## Специализированный интерфейс

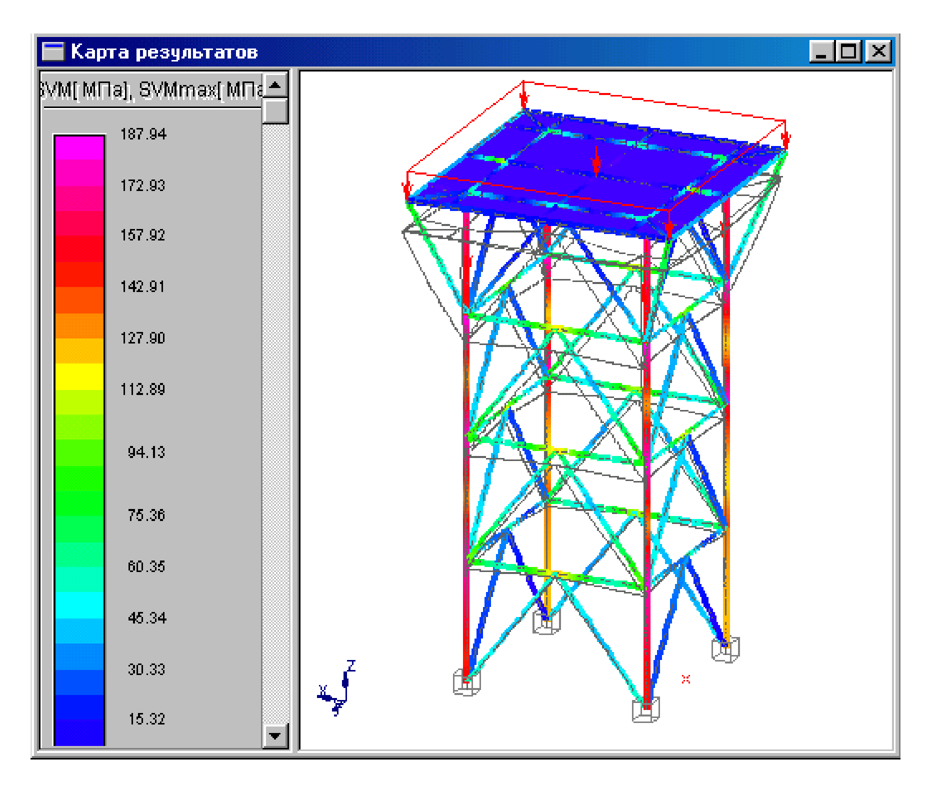
Для эффективной реализации расчетных и графических процедур в модуле имеется современный интерфейс специализированного назначения.

Он включает:

- графический редактор задания конструкций как комбинаций из стержней и пластин и твердотельных элементов;
- визуализатор пространственного представления модели;
- редактор задания плоских сечений стержневых элементов;
- редактор задания нагрузок, условий закрепления и механических характеристик составляющих конструкцию элементов;
- визуализатор результатов расчета.

К элементам конструкции могут быть приложены следующие виды силовых факторов:

- сосредоточенные сила и момент (к узлу и в произвольной точке стержня);
- распределенные нагрузки по длине стержня (осевая сила, поперечная сила, распределенный момент кручения);




*Карта напряженно-деформированного состояния вышки*

- нагрузки, вызванные смещением опор;
- нормальная распределенная сила, действующая на пластину;
- ветровые и снеговые нагрузки, действующие на пластины, а также сейсмические нагрузки (в соответствии со СНиП);

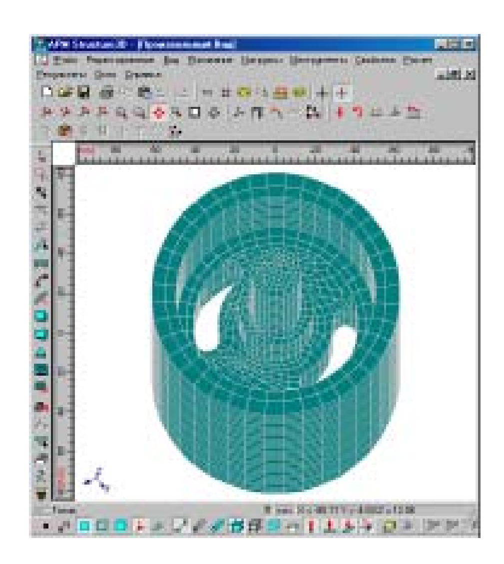
Реализована возможность работы с различными загружениями конструкции и их комбинациями.

В модуле имеется библиотека стандартных профилей и базы данных по материалам и их характеристикам. В специализированном редакторе сечений имеется возможность задания произвольных нестандартных сечений, включая и многосвязные, а также осуществлять редактирование существующих. После чего автоматически вычисляются все характеристики сечения, включая момент инерции на кручение. Предусмотрен импорт поперечного сечения из стороннего графического редактора, в котором имеется возможность генерации файлов в формате DXF.

Модуль APM Structure3D позволяет рассчитать величины напряжений и деформаций в любой точке конструкции, как с учетом внешнего нагружения, так и с учетом собственного веса каждого из элементов. Расчет стержневых элементов ведется с учетом всех концентраторов напряжений. Это позволяет более точно определять величины действующих напряжений. Кроме того, имеется возможность задания нецентрального соединения стержней в конструкции, а также автоматического определения веса всей конструкции. APM Structure3D позволяет определить неизвестные силовые факторы в каждом из узлов и внутренние силовые факторы в пределах каждого конечного элемента. Эта информация может быть использована в дальнейшем для расчета сварных, групповых резьбовых либо заклепочных соединений. Результаты расчетов с помощью специального визуализатора представляются в цветовой гамме, в виде изолиний или в форме эпюр напряжений, моментов, сил, деформаций и т. д.

Интерфейсная часть, предназначенная для демонстрации результатов расчета, проста, доступна в понимании, удобна в работе, а главное, сильно облегчает анализ полученных результатов и способствует принятию правильных решений. Интерфейс включает визуализаторы:

- напряженно-деформированного состояния модели;
- распределения напряженно-деформированного состояния конструкции в любом текущем сечении любого его элемента;

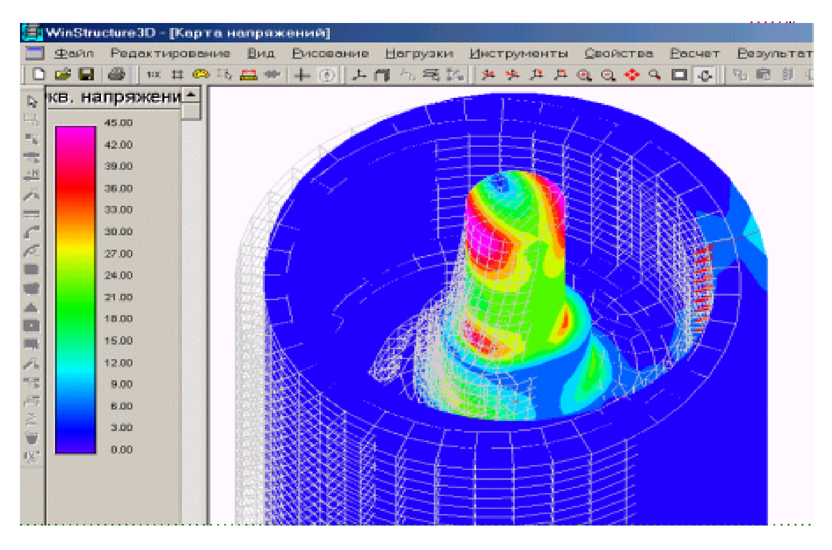


*Твердотельная модель шкива с разбиением на объемные конечные элементы*

- силовых факторов и деформаций (линейных и угловых) в узловых точках;
- графиков функций, описывающих законы моментов изгиба и кручения, напряжений и деформаций, поперечных сил и т.п. по длине любого из входящих в состав конструкции стержней;
- напряжения можно получать как в форме эквивалентных, так и отдельные их компоненты
- деформации по форме можно представить как результирующие, так и их составляющие величины

В режиме печати результатов расчета пользователю предоставлена возможность сохранения этого результата в виде твердой копии; предусмотрен также режим вывода в формат RTF, который может быть прочитан современными текстовыми редакторами, что позволяет в дальнейшем сформировать документ в удобной для пользователя форме.

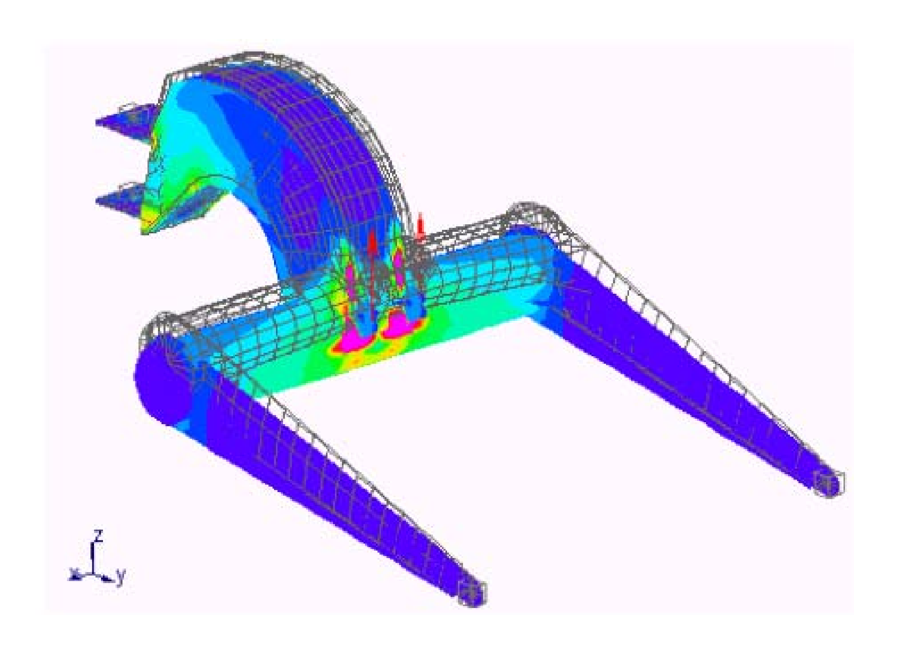
Применение специализированных редакторов существенно облегчает работу конструктора. Например, задание геометрии упрощается за счет применения проволочных и тонких пластинчатых моделей конструкций. Для детальной прорисовки можно использовать режим объемного моделирования твердотельной модели. Также в модуле предусмотрен режим визуализации и поворота поперечного сечения для любого из выбранных стержневых элементов конструкции. При работе с модулем можно воспользоваться слоями, рассчитать часть конструкции, а также построить эпюры силовых факторов непосредственно на стержнях




*Карта напряженно-деформированного состояния шкива*

конструкции. В интерфейс встроено множество контекстных подсказок, что также способствует взаимопониманию пользователя с машиной. При этом пользователю дается подробная инструкция по описанию порядка работы и перечню возможных команд

Широкий спектр описанных выше возможностей, предоставляемых модулем APM Structure3D, позволяет существенно улучшить качество проектирования протяженных объектов и сократить сроки их проектирования, а также значительно снизить вес конструкции и, следовательно, уменьшить ее стоимость. С использованием APM Structure3D можно спроектировать конструкции, близкие к равнопрочным по критериям прочности, жесткости и вибрационной активности и, следовательно, всегда наилучшим образом отвечающие требованиям заказчика.




*Напряженно-деформированная картина детали подъемного устройства ковша скрепера*

Кроме описанных выше расчетных процедур, при помощи APM Structure3D можно выполнить расчет устойчивости, определить частоты собственных колебаний, провести необходимые расчеты в условиях вынужденного нагружения, а также в области больших перемещений. Режим вынужденных колебаний задается в виде закона изменения нагрузки во времени с использованием встроенного специализированного редактора. Расчет вынужденных колебаний позволяет получить карты напряжений и деформаций в режиме реального времени. Просмотр карт напряжений выполняется в анимационном режиме.

Реализован режим расчета пространственных ферменных конструкций. При этои рамная конструкция может быть трасформирована в ферменную и наоборот.

По результатам расчета, в модуле APM Structure3D, можно выполнить необходимый подбор сечений из указанной библиотеки, которое удовлетворяет условиям прочности и устойчивости.

В режиме задания стержневых моделей имеются инструменты нецентрального соединения элементов конструкции.

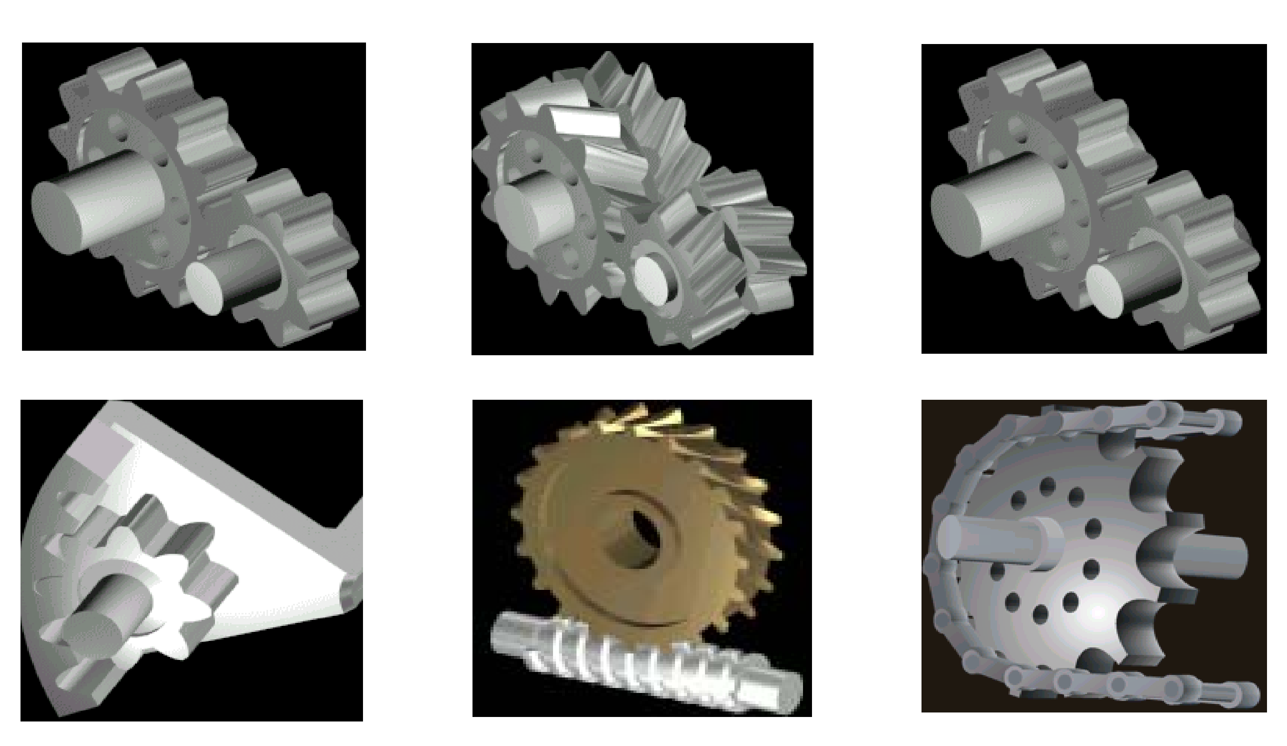
При расчете оболочечная или твердотельная геометрическая модель может быть импортирована из модуля APM Studio.

.

# APM Trans

«модуль расчета и проектирования механических передач вращения»

*Как известно, двигатели, создающие движение, имеют характеристики, не совпадающие с характеристиками исполнительного механизма (например, высокая скорость вращения двигателя и низкая — исполнительного механизма, и т. д.). Для согласования этих характеристик между двигателем и рабочими элементами различных механизмов следует установить механическую передачу — устройство, которое преобразует движение, перемещая его в пространстве. Почти любой машиностроительный объект содержит ту или иную передачу. Модуль APM Trans поможет Вам как в расчёте передачи, так и в подготовке конструкторской документации, включая рабочие чертежи.*



*Примеры передач вращения, рассчитываемые в модуле APM Trans*

Процесс проектирования с использованием APM Trans сводится к подготовке исходных данных и анализу полученного результата. При этом достигается высокое качество как за счет колоссального ускорения этой работы, так и за счет возможности выбора оптимальных параметров, которая реализуется путем анализа многих вариантов решений. Работа с APM Trans не требует знаний десятка книг и методик. При этом снижаются требования к квалификации пользователя. Предполагается, что он должен быть знаком с существом проблемы на уровне понятий и определений. Остальные вопросы берет на себя компьютер.

С помощью модуля APM Trans можно выполнить весь комплекс конструкторских и технологических расчетов (как проектировочных, так и проверочных) передач вращательного движения, а также вычертить рабочие чертежи основных деталей этих передач в автоматическом режиме. В качестве объектов для расчетов выбраны передачи, широко используемые в практике проектирования.

### Типы передач

С помощью APM Trans Вы можете проектировать следующие типы передач:

- цилиндрические с прямым зубом как внешнего, так и внутреннего зацепления;
- цилиндрические с косым зубом внешнего зацепления;
- шевронные;
- конические с прямым и круговым зубьями;
- червячные, с архимедовым, эвольвентным и инвалютным червяком и глобоидные;
- ремённые с клиновым и плоским ремнем;
- цепные.

### Проектирование передачи

При проектировочном типе расчета известными считаются выходные кинематические и энергетические параметры, а результатом является определение геометрических размеров передачи при выбранных материалах и термообработке. Для выполнения расчета необходимо указать следующие исходные параметры передачи: передаваемый момент, ресурс, условия работы, передаточное отношение и т. д. Опираясь на эти данные, модуль APM Trans рассчитает все геометрические параметры передачи.

Все эти расчеты проводятся как в условиях постоянного, так и переменного режимов реального нагружения. Учет переменного характера нагружения в APM Trans осуществляется либо в виде нормального переменного режима, либо с помощью специального инструмента для интерактивного задания таких режимов.

В основу проектировочного и проверочного расчетов положены следующие критерии:

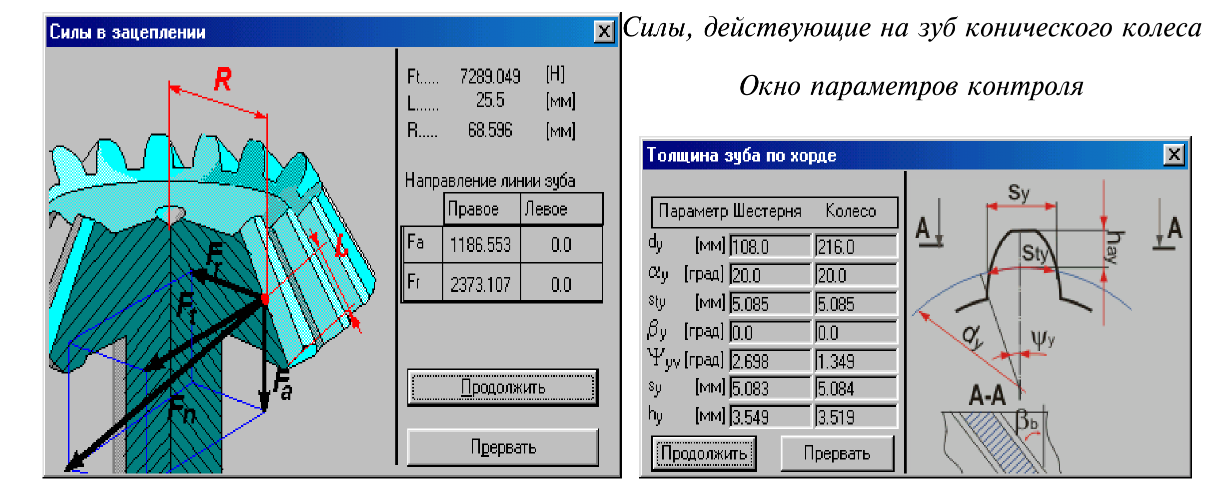
- цилиндрические и конические зубчатые передачи, а также червячные рассчитываются по критериям усталостной контактной прочности и усталостной прочности на изгиб;
- критерием расчета цепных передач является износостойкость шарниров цепи;
- расчетным критерием при проектировании ременных передач является нагрузочная способность и долговечность ремня.

Дополнительно можно наложить ограничения на рассчитываемую передачу. Например, рассчитать передачу с требуемым межосевым расстоянием или другим каким-либо параметром.

### Результаты расчета

Результатом расчета зубчатой передачи с помощью APM Trans является полный перечень параметров, необходимых при проектировании, а именно:

- геометрические параметры элементов передач;
- силы, действующие на валы от передач;
- действующие напряжения и величины допускаемых напряжений;




*Силы, действующие на зуб конического колеса*

*Окно параметров контроля*

- весь спектр параметров контроля качества изготовления;
- параметры качества передачи;
- рабочие чертежи ведущего и ведомого элементов передачи.

Результаты расчета можно сохранить во внутреннем файле, а также в файле с расширением *.rtf, который легко использовать для дальнейшего редактирования.

### *Проверка несущей способности передачи*

С помощью APM Trans можно проверить несущую способность известной передачи (то есть передачи с заданными геометрическими параметрами, условиями работы, термообработкой колёс и т. д.). Несущая способность оценивается по двум критериям:

- ресурс работы передачи при заданном передаваемом моменте;
- максимальный передаваемый момент при заданном ресурсе.

### *Расчет параметров контроля элементов передачи*

APM Trans предоставляет пользователю все необходимые данные для проверки качества изготовления элементов передачи. Для цилиндрических передач параметры контроля делятся на:

- параметры торцевого профиля зубьев;
- параметры постоянной хорды;
- параметры общей нормали;
- параметры по толщине хорды;
- параметры контроля по роликам;
- параметры проверки положения разноимённых профилей зубьев;
- параметры качества зацепления.

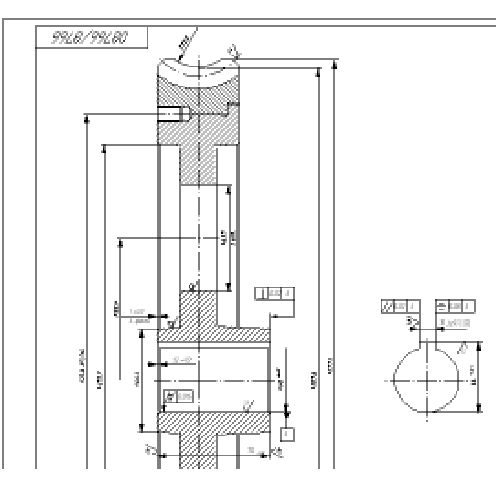
### Создание рабочих чертежей

С помощью APM Trans можно подготовить данные для дальнейшей автоматической генерации рабочего чертёжа элемента рассчитываемой передачи. Чертеж сохраняется в модуле APM Graph в формате *.agr.

При подготовке чертежа в APM Trans есть следующие возможности:

- изменять, в известных пределах, конструкцию передачи и уточнять конфигурацию изображаемой детали и других элементов чертежа с помощью интерактивного диалога, который предшествует процедуре генерации;
- проставлять предельные отклонения размеров и указывать технические требования чертежа;
- заполнять главную надпись чертежа и т. д.

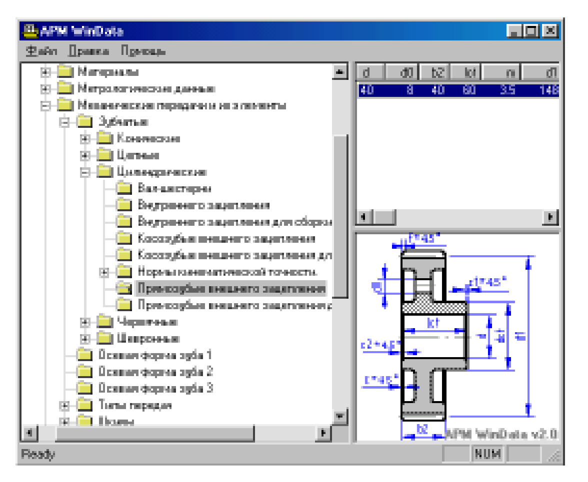
Все это задается в зависимости от нормативных параметров и требований действующих российских стандартов и нормалей. Для выполнения этих операций в APM Trans имеется полный набор простых и удобных средств. Окончательное редактирование чертежа и дальнейшая его распечатка на бумаге производится с помощью чертежно-графического редактора APM Graph, в котором имеется возможность сохранения чертежа в формате DXF для его дальнейшей передачи в другие плоские графические редакторы.



*Фрагмент рабочего чертежа, сгенерированного APM Graph*

## База данных

Для выполнения комплекса прочностных и геометрических расчетов передач, а также расчетов нагрузочной способности и износостойкости разработана единая для Системы APM WinMachine база данных, работающая под управлением СУБД,

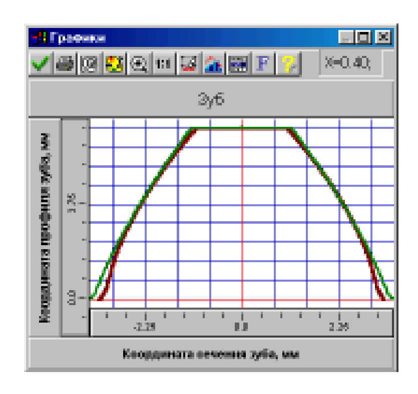



*Фрагмент раздела “Механические передачи и их элементы”*

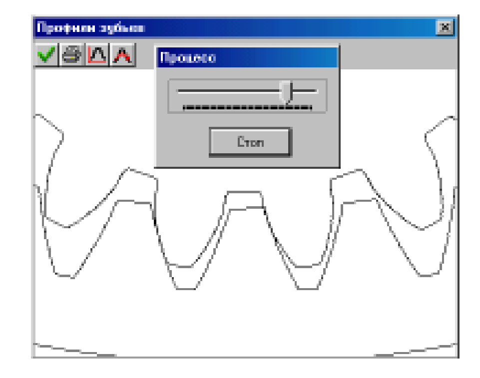
построенной на базе MS Access. Это позволяет без труда редактировать и дополнять имеющиеся стандартные параметры. Кроме того, в APM Trans реализована возможность работы с несколькими государственными и отраслевыми стандартами и стандартами предприятий.

## Моделирование процессов нарезания зубьев и зацепления

Важным разделом при проектировании зубчатых передач является процедура имитации процесса нарезания зубьев зубчатых колес методом обкатки. Эта процедура позволяет получить форму зуба колеса и шестерни исходя из параметров инструментальной рейки




*Форма зуба*




*Анимация процесса зацепления*

и величин заданного смещения. При этом можно контролировать форму и фактические размеры зуба колеса и шестерни. Помимо этого, в модуле имеется возможность моделирования процесса зацепления, что особенно важно для передач внутреннего зацепления, для которых всегда имеется опасность интерференции.

## APM Trans как средство оптимизации

Изменяя исходные параметры, накладывая или снимая ограничения, можно оптимизировать проектируемую передачу. В этом случае модуль служит Вам как средство быстрого расчёта различных вариантов.

# APM Shaft

«модуль расчета и проектирования валов и осей»

*Валы служат опорой вращающихся деталей, и они передают вращающие моменты. Они относятся к числу наиболее ответственных деталей машин, поэтому к ним предъявляются высокие требования по точности изготовления, прочности, жесткости, устойчивости и характеру колебаний. Модуль APM Shaft позволяет выполнить весь цикл проектирования валов и осей, начиная от разработки конструкции и заканчивая полным статическим и динамическим расчетом.*

С помощью APM Shaft можно рассчитать и построить:

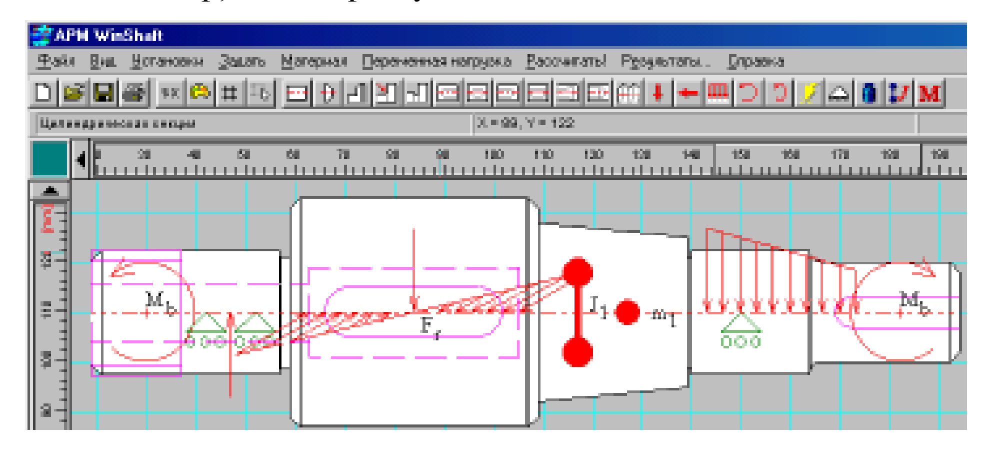
- реакции в опорах валов;
- эпюры моментов изгиба и углов изгиба;
- эпюры моментов кручения и углов закручивания;
- деформированное состояние вала;
- напряженное состояние при статическом нагружении;
- коэффициент запаса по усталостной прочности;
- эпюры распределение поперечных сил;
- собственные частоты и собственные формы вала.

Результаты расчета можно сохранить во внутреннем файле, а также в файле с расширением *.rtf, который легко использовать для дальнейшего редактирования.

### Графический редактор

Модуль APM Shaft имеет специализированный графический редактор для задания геометрии валов и осей. Редактор предоставляет в распоряжение пользователя гибкие и удобные средства обеспечивающие:

- задание конструкции вала;
- ввод нагрузок, действующих на вал;
- размещение опор, на которых установлен вал.




*Пример конструкции вала, созданного инструментами модуля APM Shaft*

Основное отличие графического редактора валов модуля APM Shaft от аналогичных редакторов других систем состоит в специальном наборе примитивов, с которыми он оперирует. Примитивы APM Shaft — это основные элементы конструкции вала (цилиндрические и конические участки, фаски, галтели, канавки, отверстия, участки с резьбой,

шпонки, шлицы и т. д.), а также нагрузки, которые могут действовать чительно упрощает ввод и редактирование геометрии вала и других данных, необходимых для выполнения расчетов.

### Методы и критерии расчета

Напряженное и деформированное состояния вала рассчитываются методами сопротивления материалов. Так, деформированное состояние описывается методом Мора, а раскрытие статической неопределимости выполняется методом сил. Статическая прочность оценивается по эквивалентным напряжениям, полученным энергетическим методом. Динамические характеристики, такие как собственные частоты и собственные формы, определяются методом начальных параметров.

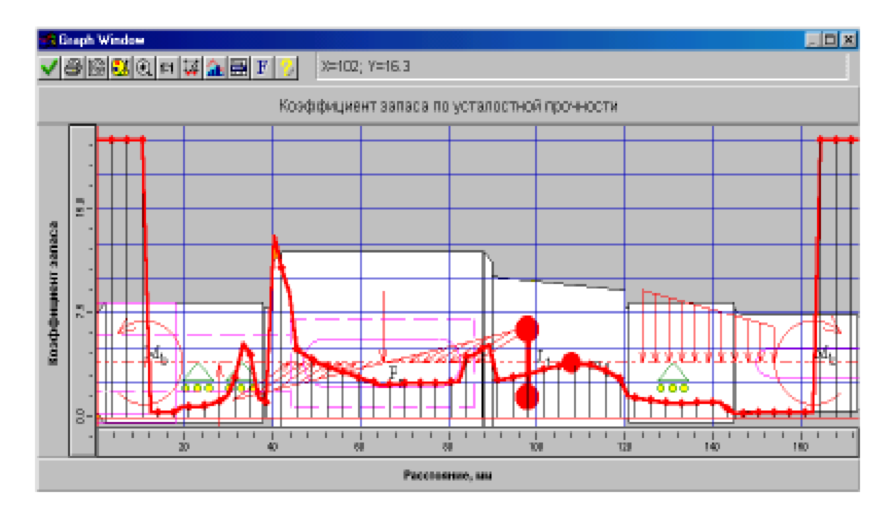
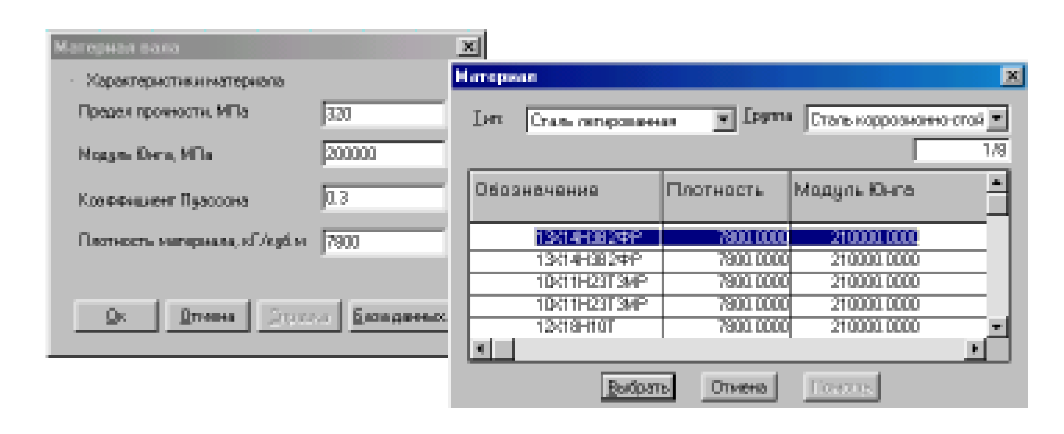



*График распределения величины коэффициента запаса по усталостной прочности по дляне вала*

Расчет усталостной прочности сводится к нахождению коэффициента запаса в текущем сечении по длине вала, причем как при постоянной внешней нагрузке, так и в случае, когда известен закон ее изменения во времени.

### База данных

В состав Системы APM WinMachine входит единая база данных APM Data. Все необходимые параметры материалов, такие как модуль Юнга, коэффициент Пуассона, плотность и т. п., берутся из этой базы.

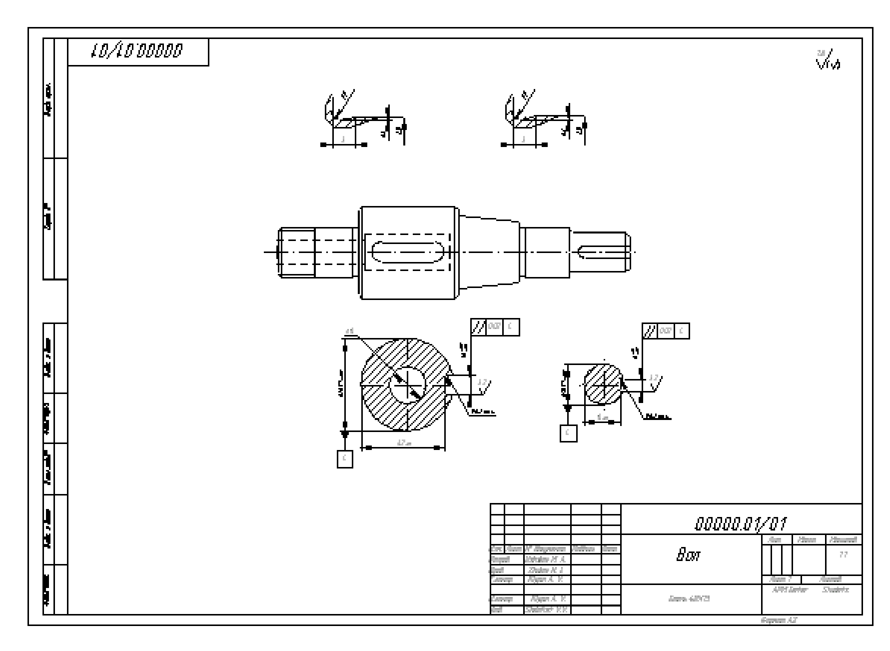



*Диалоговые окна для задания параметров материала вала*

### Создание рабочих чертежей

С помощью APM Shaft можно подготовить данные для дальнейшей автоматической генерации рабочего чертежа вала. Чертеж сохраняется в модуле APM Graph в формате *.agr.

Для подготовки чертежа в APM Shaft необходимо заполнить главную надпись чертежа.




*Рабочий чертеж вала сгенерированный в модуле APM Graph по результатам расчетов*

Окончательное редактирование чертежа и дальнейшая его распечатка на бумаге производится с помощью чертежно-графического редактора APM Graph, в котором имеется возможность сохранения чертежа в формате DXF для его дальнейшей передачи в другие плоские графические редакторы

# APM Bear

«модуль расчета и проектирования неидеальных подшипников качения»

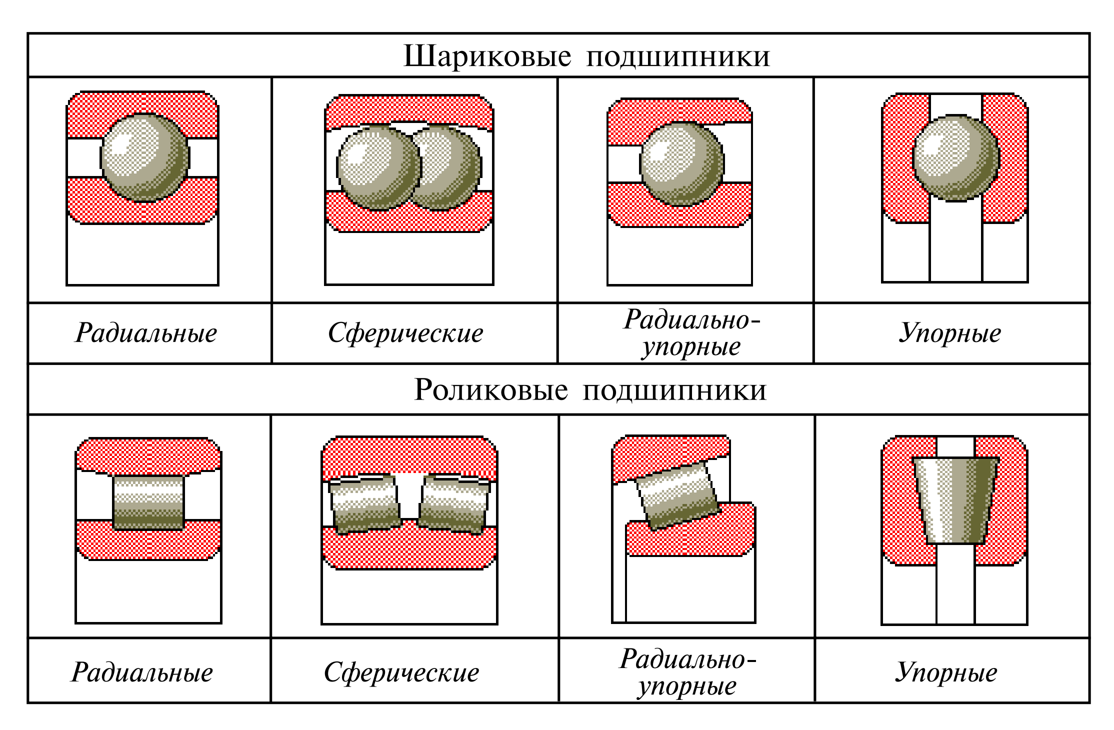
*Подшипники качения представляют собой основной тип опор для вращающихся деталей машин, различных механических устройств и систем. APM Bear выполняет комплексный анализ подшипников качения. Используя этот модуль, можно рассчитать основные характеристики подшипников и выбрать оптимальные конструкции подшипниковых узлов. Расчет может вестись как при постоянном, так и при переменном режиме нагружения.*

**Эффективный метод расчета неидеальных подшипников**

APM Bear — это новая, не имеющая аналогов программа.

Подшипник считается неидеальным, если погрешностями его изготовления нельзя пренебречь в контексте решаемой задачи. Многие важные задачи контактной жесткости и контактных напряжений требуют, чтобы подшипник рассматривался именно как неидеальный. В Научно-Техническом Центре АПМ разработан универсальный метод решения контактных задач, надежность и эффективность которого подтверждены результатами экспериментальных исследований.

В APM Bear могут быть рассчитаны подшипники восьми наиболее распространенных типов.




*Наиболее распространенные типы подшипников*

По желанию заказчика к этому списку можно добавить любой специальный тип подшипника.

### Метод моделирования подшипника вместо расчета единичных параметров

В APM Bear выполняется весь комплекс проверочных расчетов, когда по известной геометрии подшипника рассчитываются его выходные характеристики. Как было сказано ранее, при определении выходных характеристик применяются оригинальные аналитические и численные подходы, а также методы математического моделирования, что дает возможность представить результаты расчета этих параметров и величины их статистического рассеяния в удобном для пользователя виде. В частности, можно описать поведение подшипников в режиме реального времени, используя процедуру анимации.

Весь комплекс полученных решений предоставляет пользователю возможность наглядно как качественно, так и количественно оценить пригодность подшипника (или пары подшипников) и в случае необходимости наметить пути для подбора параметров более эффективных опор. Такой подход к расчету и анализу подшипников позволяет получить такие надежные и исчерпывающие результаты, которые не могут быть определены с помощью других известных в настоящее время систем.

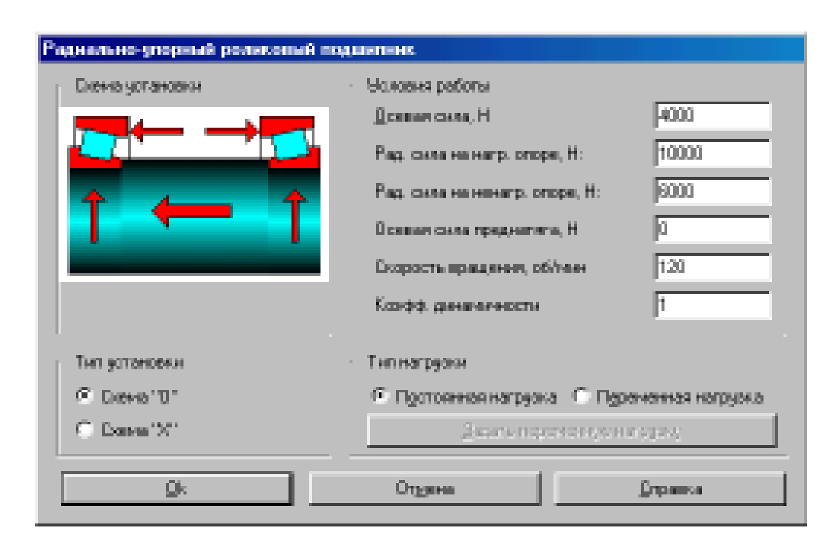
### Возможности APM Bear

С помощью APM Bear можно рассчитать:

- перемещения (жесткость)
- наибольшие контактные напряжения
- силы, действующие на тела качения
- долговечность
- потери мощности
- момент трения
- тепловыделение

### Ввод исходных данных

Модуль APM Bear прост в использовании, и это видно на примере организации ввода исходных данных. Все геометрические размеры подшипника можно ввести вручную, а можно воспользоваться единой базой данных, которая входит в состав Системы APM WinMachine. В базу включены стандарты, применяемые в России, в то же время она доступна для редактирования. Нагрузки на подшипник вводятся с экрана в зависимости




*Окно задания условий работы подшипникового узла*

от типа установки подшипника. Параметры точности по желанию пользователя выбираются с помощью базы данных по заданному классу точности.

Для случая, если действующие на вал внешние нагрузки изменяются во времени, имеется специализированный графический редактор с полным набором необходимых для ввода переменных параметров функций.

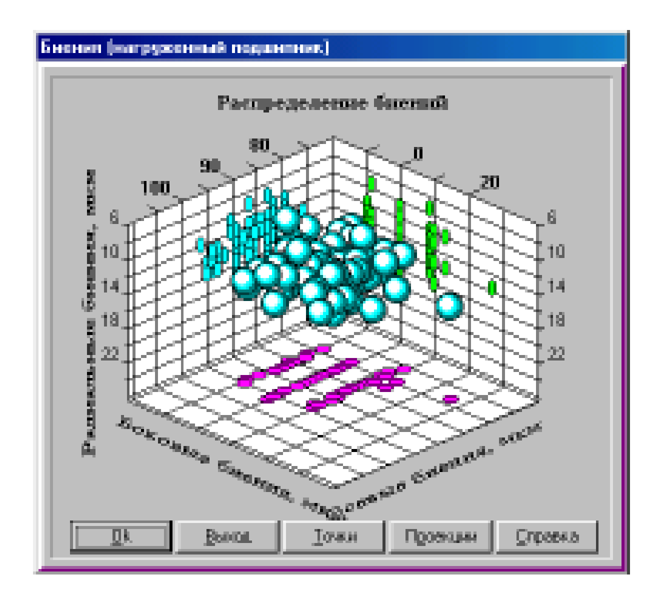
Нагрузки, действующие на подшипник, могут быть произвольными, при этом в качестве внешней нагрузки можно рассматривать также и силу преднатяга. Величина преднатяга в зависимости от типа подшипника задается либо в виде приложенной осевой (радиальной) нагрузки, либо в виде радиальных (осевых) перемещений.

Использование данного модуля при проектировании подшипников поможет конструктору механического оборудования в создании опор качения, оптимальных как по параметру жесткости, так и по другим критериям.

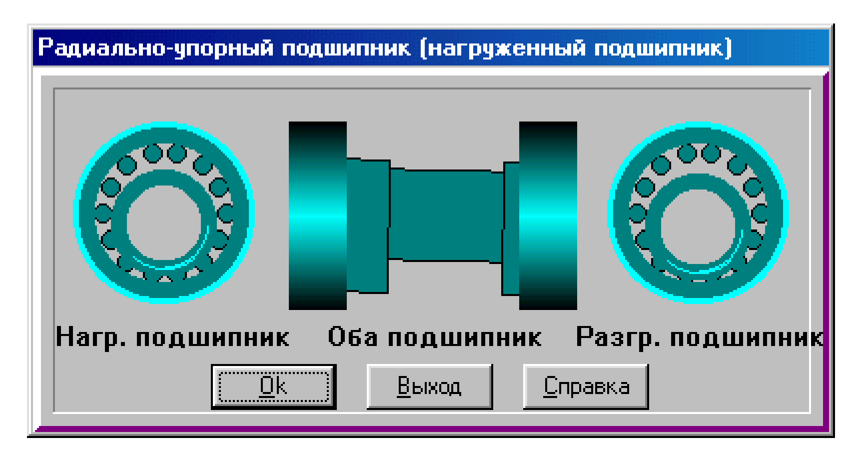
### Перемещения и жесткость — ключ к расчету подшипника

Распределение нагрузок на тела качения существенно влияет на долговечность подшипника. Расчет на долговечность сводится к определению времени работы подшипника до момента начала выкрашивания дорожек качения.

Важным параметром, характеризующим работу подшипниковых опор, является *класс точности*, который напрямую связан с величиной смещений вала. В зависимости от типа




*Трехмерное пространственное распределение перемещений для радиально-упорного подшипника*




*Анимация работы подшипникового узла*

подшипника величины этих перемещений в общем случае могут иметь осевые, радиальные и боковые составляющие.

С целью изучения картины статистического рассеяния выходных параметров в модуле APM Bear их расчет выполняется для ста произвольных положений центра подшипника.

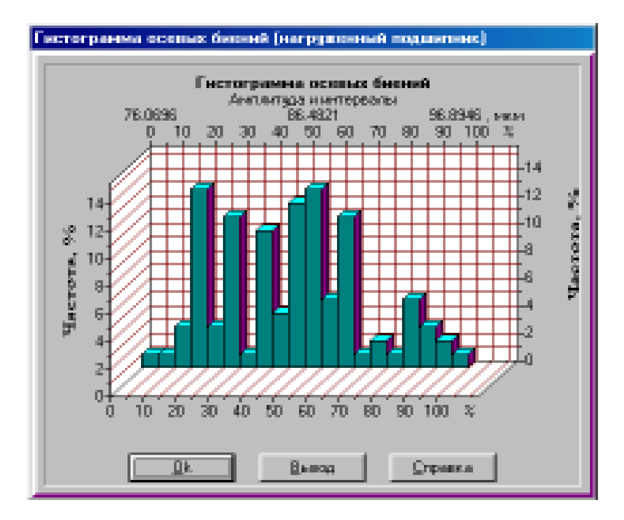
Результаты расчета нагрузок позволяют также определить серию энергетических характеристик, от которых зависит потребление энергии и рабочая температура подшипника: коэффициент полезного действия, моменты трения, потери мощности при трении, тепловыделение и т. д.

### Представление результатов расчета

Результаты расчета представляются различными способами, в виде:

- таблиц со статистическими характеристиками;
- гистограмм компонент перемещений;
- пространственного поля положений центра подшипника;
- анимации движения подшипника.
- графиков, описывающих изменения параметра по углу поворота подшипника.

Соответствующие формы представления результатов расчета дают возможность получить исчерпывающую характеристику движения подшипника. Выбор вида представления остается за пользователем.




*Гистограмма осевых биений роликового радиально упорного подшипника*

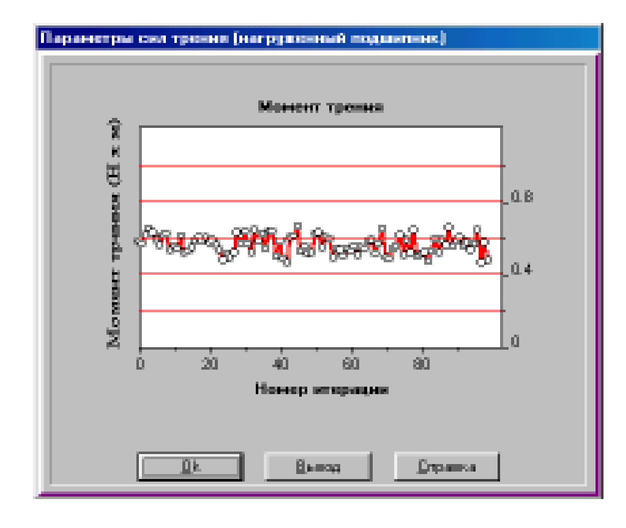



*График значений момента сил трения (радиально-упорный роликовый подшипник)*

Так как важным параметром расчета является информация о нагрузках, действующих на тела качения, в модуле APM Bear предусмотрен наглядный вывод этой информации на экран. При желании пользователь может также вращать подшипник качения и наблюдать за изменением этих нагрузок.



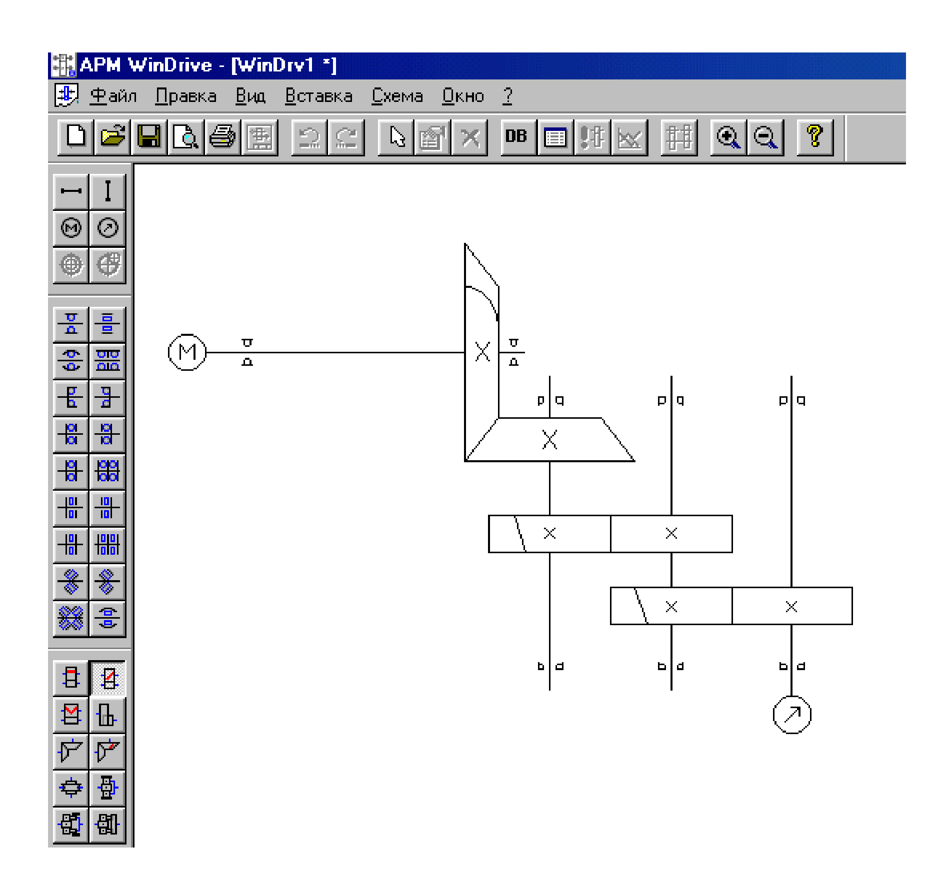

*Диаграмма распределения сил, действующих на тела качения*

# APM Drive

«модуль автоматизированного расчета и проектирования привода вращательного движения произвольной структуры»

*Для обеспечения движения исполнительного механизма используют двигатели. В большинстве случаев между двигателем и исполнительным механизмом устанавливается передаточный механизм, который преобразовывает исходное вращательное движение двигателя в более тихоходное движение исполнителя. В качестве исполнительных механизмов используются одно- или многоступенчатые редукторы в совокупности с ременными и цепными передачами, коробки скоростей. Редуктор, как правило, содержит зубчатые передачи, валы и подшипники качения, устанавливаемые в корпусе и являющиеся опорами валов. Модуль APM Drive предназначен для комплексного расчета и оформления конструкторской документации всех элементов многоступенчатого привода, вплоть до сборочного чертежа.*

Процесс проектирования привода вращательного движения произвольной структуры с использованием модуля APM Drive сводится к заданию кинематической схемы в специальном редакторе, вводу исходных данных всего редуктора и последующему расчету, а также анализу и корректировке полученных результатов. Данный модуль работает совместно с модулями расчета зубчатых передач APM Trans, валов и осей APM Shaft, а также модулем расчета подшипников качения APM Bear. Дополнительно в расчете используется единая база данных




*Пример задания кинематической схемы редуктора*

### Редактор задания кинематичекой схемы

В основе APM Drive лежит редактор задания элементов кинематической схемы, в состав которой могут входить передачи, валы и подшипники.

При работе в данном редакторе необходимо задать схему привода (выбрать число ступеней), а также задать типы передачи, типы подшипников качения и расположение валов. Схематически показываются вход и выход передачи. Число ступеней редуктора может быть достаточно большим.

Передачи можно выбрать из следующей библиотеки элементов:

- цилиндрические всех известных типов эвольвентного профиля;
- конические с прямым и круговым зубьями;
- червячные.

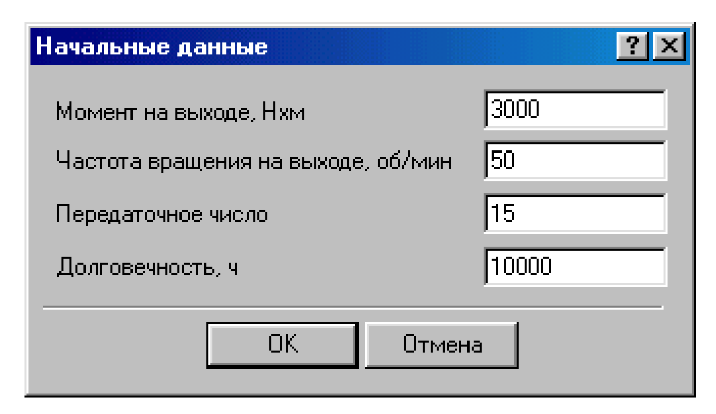
Подшипники качения выбираются из библиотеки примитивов:

- шариковые радиальные;
- шариковые двухрядные сферические;
- шариковые радиально-упорные и упорно-радиальные;
- шариковые упорные;
- роликовые радиальные и игольчатые;
- роликовые двухрядные сферические;
- роликовые радиально-упорные и упорно-радиальные;
- роликовые упорные.

Из множества типов передач, валов и подшипников можно собрать привод для передачи вращения от двигателя к исполнительному механизму произвольной структуры. При этом модуль APM Drive позволит определить геометрические размеры передач и валов, а также подобрать размеры подшипников качения из базы данных.

### Проектирование привода

Проектирование привода произвольной структуры начинается с задания его кинематической схемы (см. выше) и основных параметров передач. Разбиение параметров передач по ступеням (передаточного отношения, момента и числа оборотов) может производиться или автоматически, или вручную по выбранному параметру.



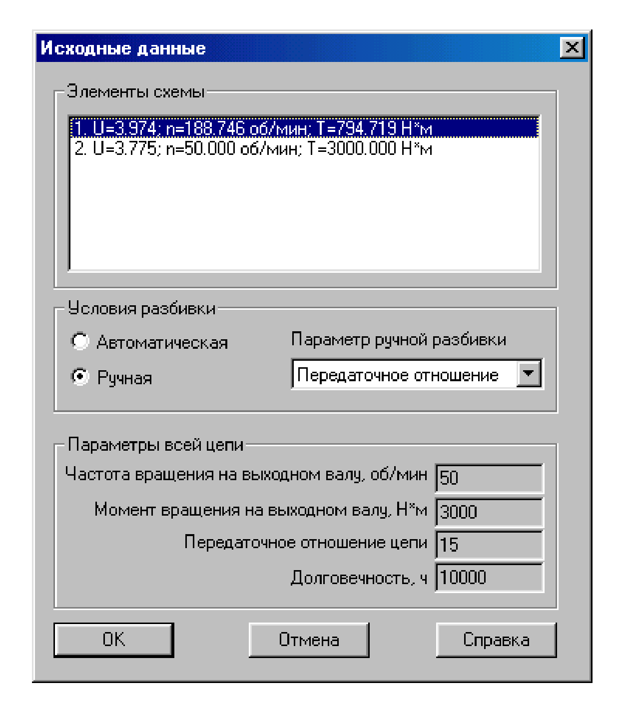

*Окно задания исходных данных*

Кроме основных параметров передачи на начальном этапе могут быть заданы:

- режим нагружения привода (постоянный или переменный);
- термообработка материала зубчатых колес;
- материалы валов.

После предварительного расчета на выходе получаем параметры зубчатых передач (такие как геометрические размеры, силы в зацеплении, параметры инструмента для нарезания и контроля и т. д.); конструкцию и параметры валов; типы и геометрические размеры подшипников качения, подобранные из базы данных.

Опираясь на результаты первоначального расчета, можно уточнить термообработку материала зубчатых колес, а также задать какие-либо ограничения на их проектирование: модуль, межосевое расстояние, числа зубьев, угол наклона зуба, коэффициент смещения и т. п.




*Окно корректировки параметров привода по ступеням разбиения*

Расчет валов ведется исходя из статической прочности. Кроме того, в первоначальном расчете не учитываются такие атрибуты валов, как фаски, галтели, шпоночные канавки, шлицы и т.п., которые следует вводить на соответствующих валах вручную, в зависимости от выбранного типа соединения зубчатых колес с валом.

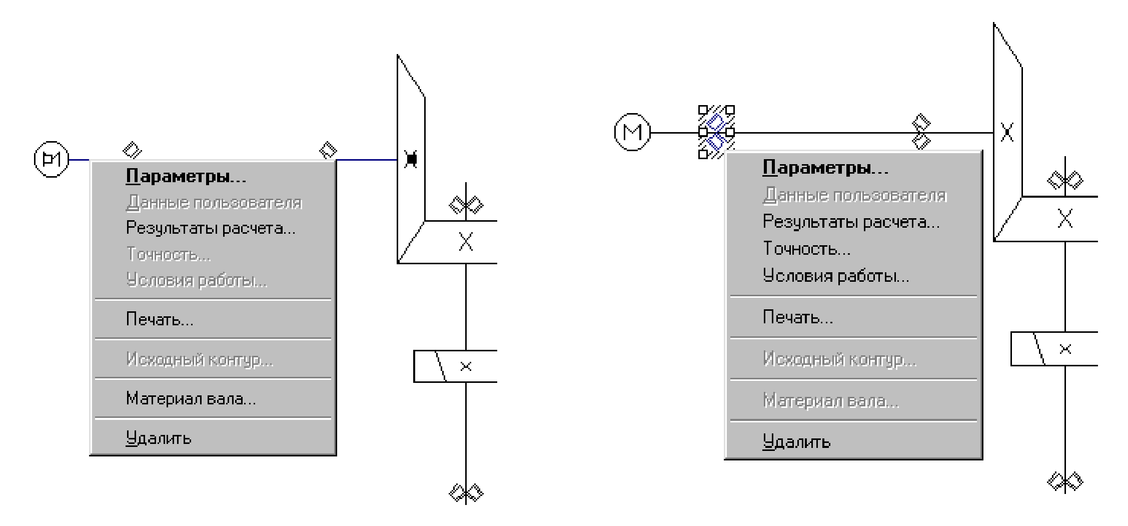
Можно также уточнить диаметры вала для посадки подшипников, а также откорректировать те элементы вала, в которых коэффициент запаса по усталостной прочности оказался ниже требуемого.

При подборе подшипников определяются их серии, которые обеспечивают достаточную долговечность. Если при обращении к базе не удается подобрать подходящий подшипник, следует увеличить диаметр вала. Для каждого подшипника выбранного типа и размера рассчитываются и другие характеристики, необходимые для анализа работы привода.

После внесения соответствующих изменений в конструкцию элементов проектируемого привода расчет в APM Drive следует выполнить вновь. В результате привод будет спроектирован заново с учетом всех внесенных изменений.

Поскольку расчет элементов привода ведется с помощью модулей APM Trans, APM Shaft и APM Bear, то на выходе можно получить все расчетные параметры, которые обеспечивают эти модули. Предусмотрена также генерация чертежей проектируемых элементов в автоматическом режиме в виде параметризованной модели в формате графического редактора APM Graph.

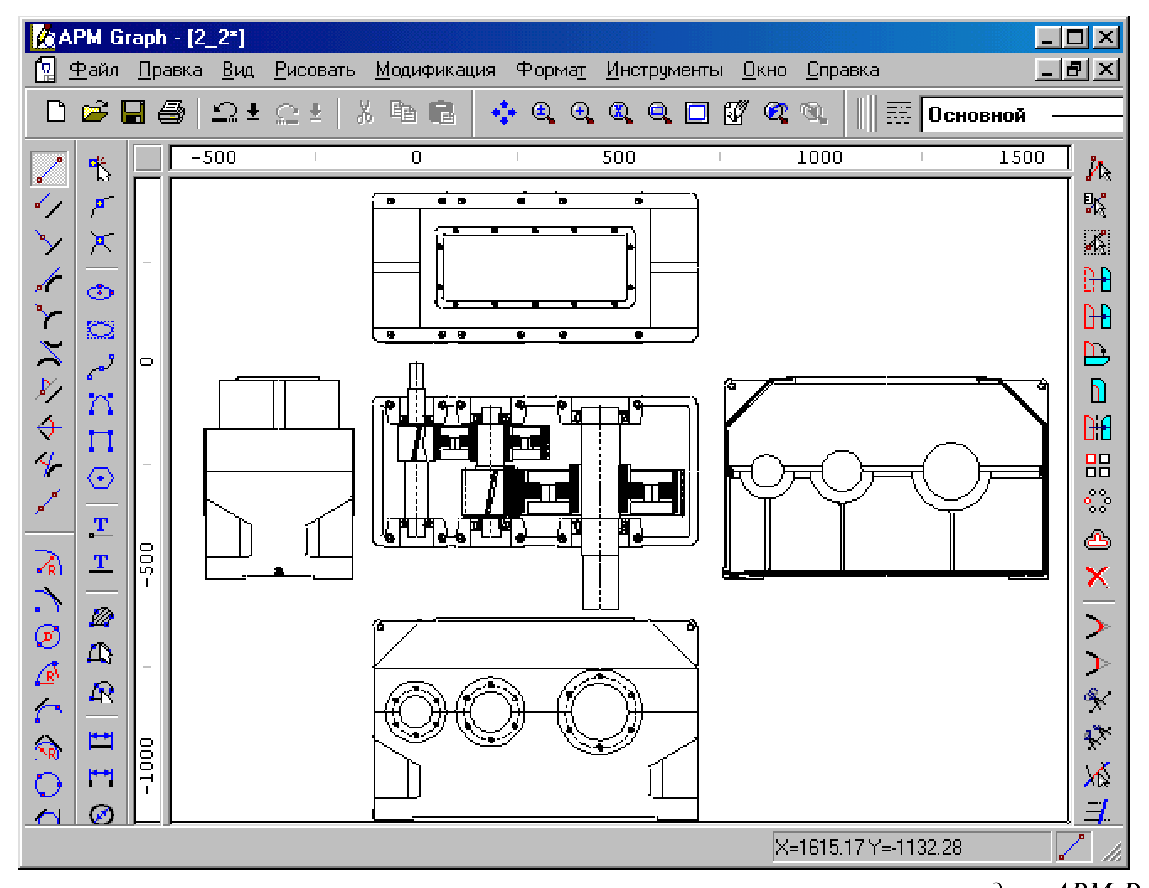
Кроме того, система дополнена типовыми схемами планетарных передач, которые можно рассчитать и получить их геометрические, силовые и кинематические параметры.




*Динамическое окно выбора параметров элемента привода для уточнения исходных данных или просмотра результатов расчета (слева — для вала, справа — для подшипника)*

### Создание рабочих чертежей

Работа APM Drive завершается генерацией сборочного чертежа привода в модуле APM Graph. После чего чертеж может быть подвергнут корректировке, доработке и выводу на печать. А также имеется возможность сохранения чертежа в формате DXF для его дальнейшей передачи в другие плоские графические редакторы.




*Пример чертежа, автоматически сгенерированного по результатам расчетов модуля APM Drive*

# APM Joint

«модуль расчета и проектирования соединений элементов машин»

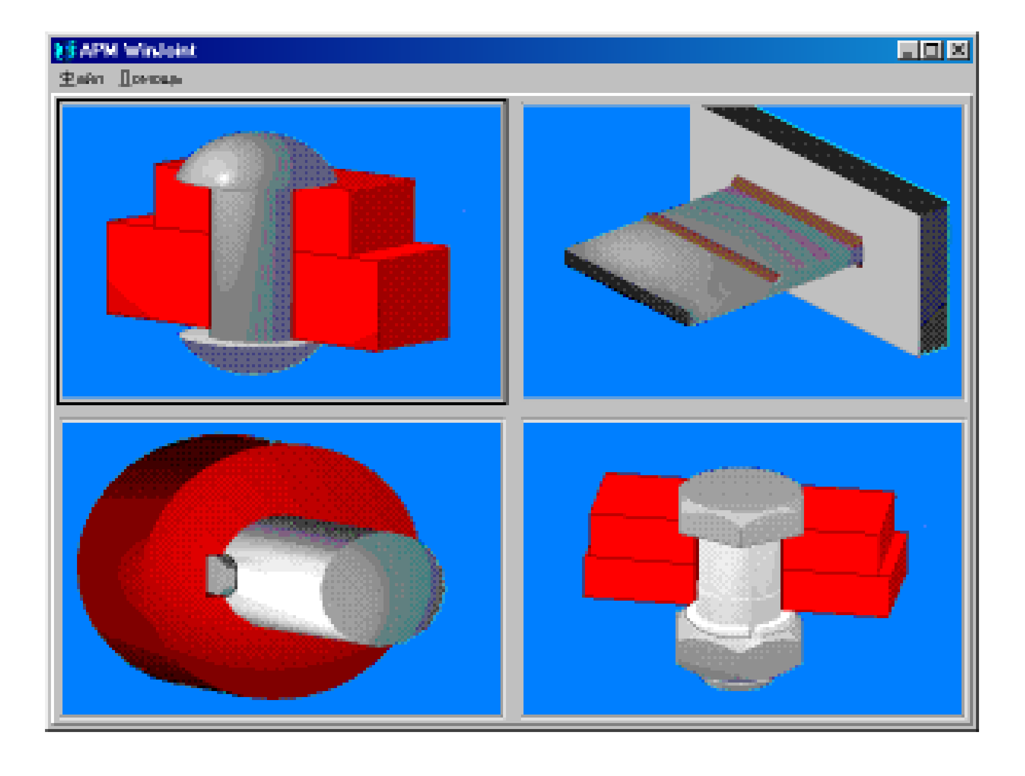
*Отдельные детали и узлы машин, механизмов, конструкций и элементов всевозможных механических систем соединяются между собой (с помощью специальных деталей или без них), образуя при этом новые конструкции и узлы как совокупность более мелких. Способы такого соединения деталей очень разнообразны, так же как и методы их инженерного расчета и проектирования. Конструктивно соединения бывают резьбовыми, сварными, заклепочными и соединениями, предназначенными для соединения деталей вращения. Все эти объекты могут быть спроектированы с помощью модуля APM Joint.*

Модуль позволяет выполнить комплексный расчет и анализ соединений, которые наиболее часто используются в машиностроении и строительстве. Применение модуля при разработке изделий новой техники значительно сократит время проектирования указанных выше объектов, повысит надежность их расчета и позволит выбрать из множества вариантов рациональные значения параметров.

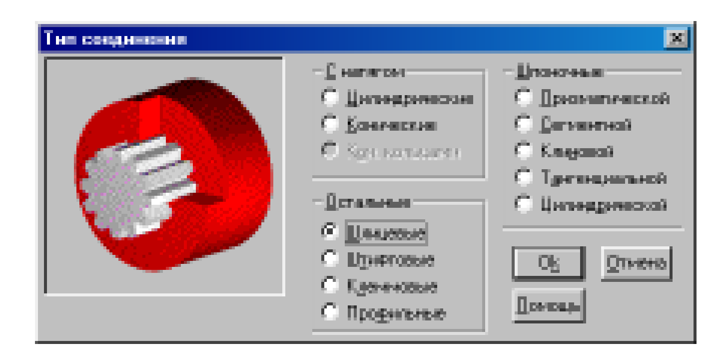
**Типы соединений, рассчитываемые APM Joint**

Модуль позволяет рассчитать:

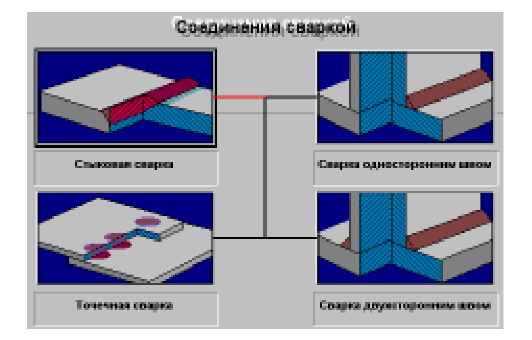
- групповые резьбовые соединения, поставленные в отверстие с зазором и без, установленные в произвольном порядке и предназначенные для соединения произвольных поверхностей. При этом в качестве элементов крепления могут быть рассчитаны болты, винты и шпильки, работающие при произвольном внешнем нагружении;




*Главное окно модуля APM Joint для выбора типа рассчитываемого соединения*




*Окно выбора типа соединения вала с телом вращения*



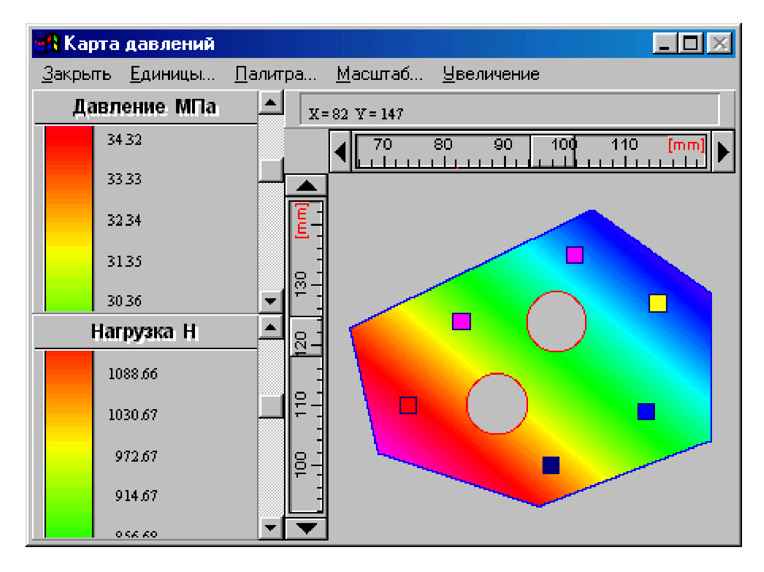

*Окно выбора типа расчитываемого сварного шва*

- сварные соединения при произвольной внешней нагрузке и произвольном размещении сварных швов следующих типов:
  - ◊ стыковые;
  - ◊ тавровые;
  - ◊ нахлесточные;
  - ◊ соединения, выполненные точечной сваркой;
- заклепочные соединения произвольного размещения и при произвольном плоском нагружении;
- соединения деталей вращения, конструктивно выполненные как:
  - ◊ соединения с натягом цилиндрической или конической форм;
  - ◊ шлицевые или шпоночные соединения разных типов;
  - ◊ штифтовые радиальные и осевые соединения;
  - ◊ соединения коническими кольцами;
  - ◊ клеммовые соединения различного конструктивного выполнения;
  - ◊ профильные соединения различных модификаций.

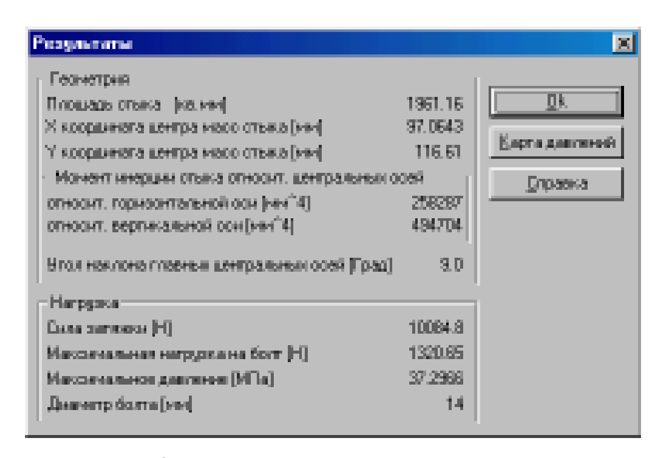
## Возможности модуля APM Joint

APM Joint позволяет выполнить все необходимые для выбранного типа соединения расчеты. Тип расчета (проверочный или проектировочный) устанавливается пользователем.

Под проектировочным расчетом понимается комплекс вычислений по определению основных геометрических размеров соединения, а при проверочном расчете находятся




*Карта удельных давлений на поверхность стыка и нагрузок на болты*




*Вывод основных результатов расчета*

значения коэффициентов запаса. При этом критериями расчета резьбовых соединений являются: условие отсутствия сдвига и раскрытия сопряженных поверхностей, а также статическая и усталостная прочность элементов соединения. Сварные швы рассчитываются из условия статической и усталостной прочности, а заклепочные — из условия прочности при постоянной нагрузке. Критерием расчета соединений деталей вращения может быть (в зависимости от типа соединения): условие отсутствия сдвига; условие появления зазоров в сопряженных поверхностях; статическая и усталостная прочности элементов соединения, а также совокупность этих критериев.

### Интерфейс модуля APM Joint

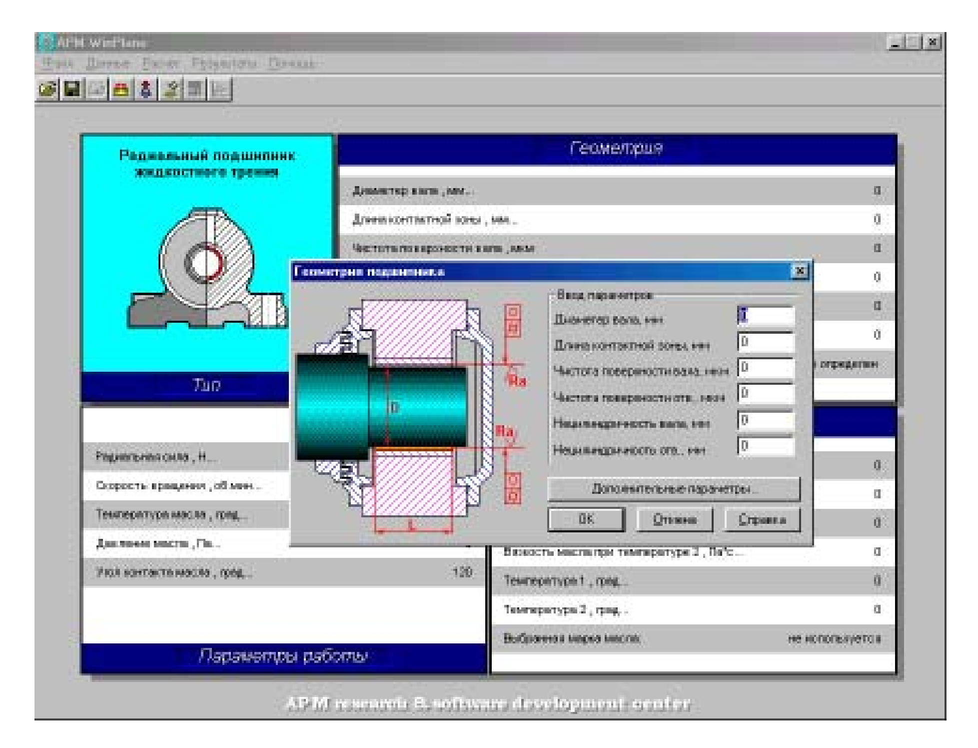
Инструментальные средства APM Joint рассчитаны на неподготовленного пользователя. Модуль прост в работе. Это обеспечивается наличием:

- удобного диалогового интерфейса;
- специализированного графического редактора;
- наглядный интерфейс вывода результатов;
- базы данных, доступной для дополнения и редактирования;
- других необходимых для этого класса программного обеспечения сервисных средств.
- силы, действующие на валы от передач;
- действующие напряжения и величины допускаемых напряжений;

# APM Plain

«модуль расчета подшипников скольжения»

*Подшипники скольжения — важный тип опор вращения, который часто применяется в конструкциях, работающих в сложных условия, а именно при: высоких вибрационных и ударных нагрузках; низких и особо высоких частотах вращения; повышенных требованиях к стабильности и точности положения валов; работе в воде и агрессивных средах; недостатке смазки или вообще без нее и т. д. Надежность работы подшипников определяет работоспособность и долговечность машин. В APM Plain осуществляет всесторонний расчет подшипников скольжения. Используя этот модуль, Вы можете рассчитать основные характеристики подшипников и выбрать оптимальные конструкции подшипниковых узлов.*




*Ввод исходных параметров, необходимых для расчета*

### Типы подшипников скольжения

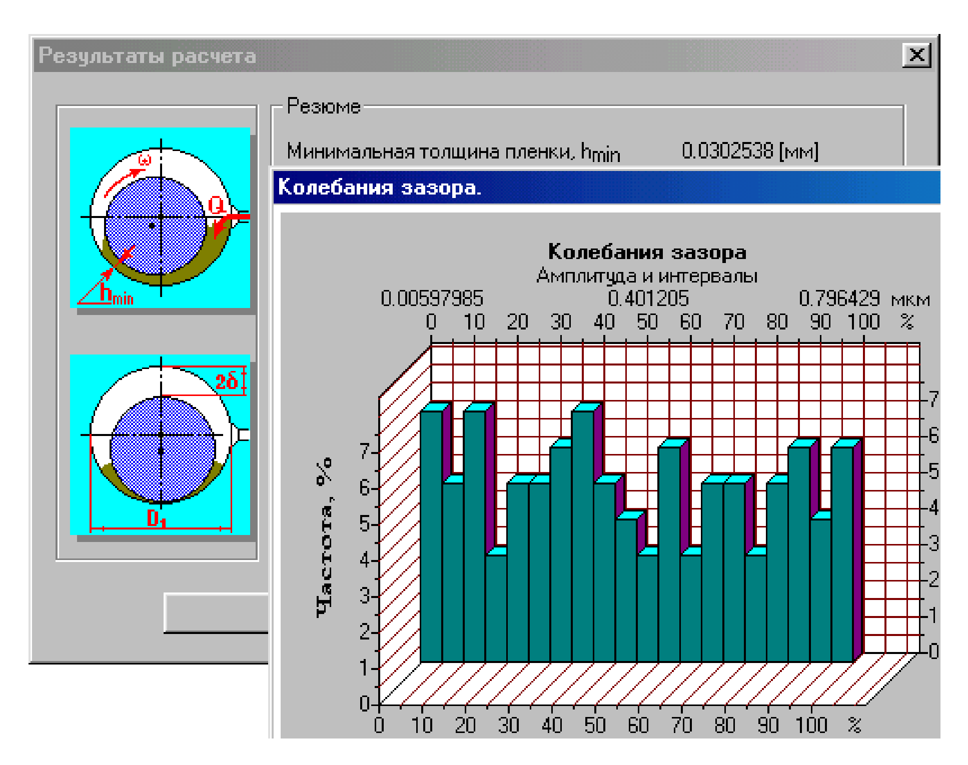
APM Plain позволяет рассчитать подшипники следующих типов:

- радиальные, работающие в режиме жидкостного трения;
- радиальные, работающие в режиме полужидкостного трения;
- упорные (подпятники), работающие в режиме жидкостного трения.

### Возможности APM Plain

С помощью модуля APM Plain может быть найдено:

- распределение радиальных и осевых зазоров;
- оптимальное значение зазора;




*Пример вывода результатов расчета*

- параметры системы смазки (толщина смазочной пленки, максимальная и средняя температура масла, расход масла);
- действительный коэффициент трения и потери на трение;
- конструкционные параметры.

## Критерии и методы расчета

Критерием расчета подшипников жидкостного трения является условие, при котором толщина зазора между находящимися в относительном движении поверхностями не меньше некоторой заданной допустимой величины.

Для подшипников полужидкостного трения аналогичный критерий формулируется как требование по отношению к рабочей температуре подшипника: — она должна быть меньше допустимой для данного типа масла.

Расчет подшипников жидкостного трения производится путем решения уравнения Рейнольдса и уравнения равновесия. При этом течение жидкости в зазоре считается ламинарным.

Методика расчета подшипника, работающего в условиях полужидкостного трения, основана на исследовании процесса тепловыделения при трении и решении уравнений теплопередачи.

# APM Screw

«модуль расчета неидеальных винтовых передач»

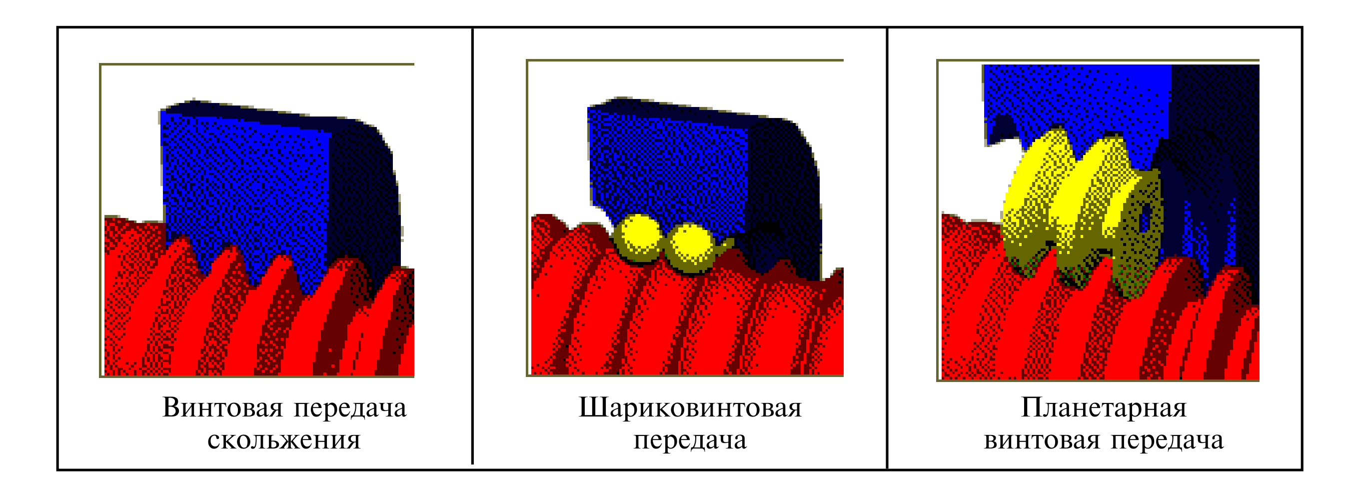
*Винтовые передачи используются для преобразования вращательного движения винта в поступательное движение гайки. Механизмы такого типа широко используются в станкостроении, робототехнике, приводных механизмах, авиационной технике и других областях современного машино- и приборостроения. Тем не менее, при проектировании этих объектов возникает много проблем, решение которых возможно с помощью модуля автоматизированного расчета и проектирования винтовых передач APM Screw.*

### Что такое APM Screw?

APM Screw — это оригинальная программа для расчета винтовых передач. Она позволяет провести комплексный анализ этих передач и рассчитать их основные параметры, а также выбрать оптимальные.

### Типы передач

С помощью APM Screw могут быть рассчитаны наиболее широко распространенные типы винтовых передач: *винтовая передача скольжения, шариковая винтовая передача* и *планетарная винтовая (роликовая винтовая) передача.* Для шариковинтовых передач



Винтовая передача скольжения | Шариковинтовая передача | Планетарная винтовая передача

рассматриваются два подтипа — с одной гайкой и с двумя полугайками (который эксплуатируется с преднатягом).

### Основа APM Screw — теория неидеального контакта

Главным преимуществом модуля APM Screw является то, что с его помощью можно учесть влияние погрешностей изготовления на параметры винтовой передачи. Это стало возможным благодаря новой теории неидеального контакта, разработанной в Центре АПМ. Она применима для широкого круга элементов машин и механизмов, таких как подшипники качения, винтовые передачи, плоские соединения, направляющие качения

и скольжения и т. д. Использование теории неидеального контакта позволяет получить надежные значения контактных перемещений, жесткости, напряжений и других параметров, зависящих от контактных деформаций, таких как долговечность, момент трения, потери мощности и т. д.

### Возможности APM Screw

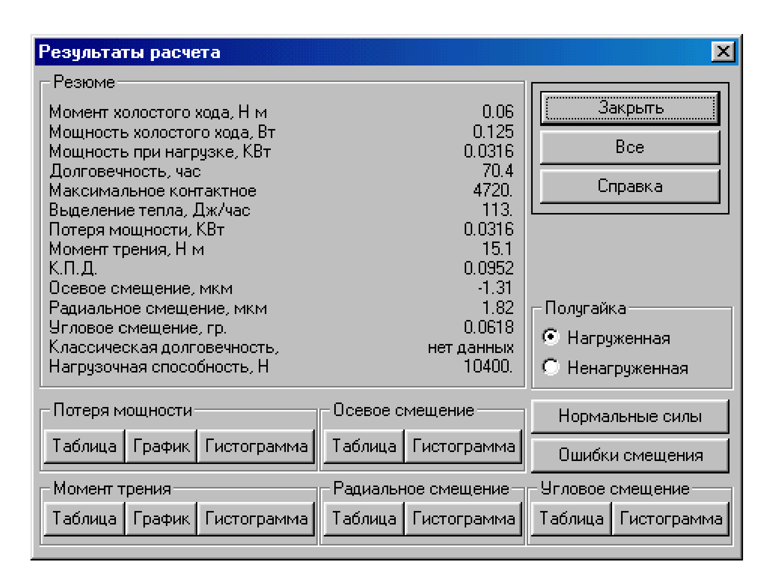
С помощью APM Screw можно рассчитать следующие параметры:

- перемещения (жесткость)
- долговечность
- момент трения
- наибольшие контактные напряжения
- потери мощности
- тепловыделение
- силы, действующие на тела качения
- коэффициент полезного действия
- ошибки позиционирования

### Вместо расчета единичных параметров — моделирование

Благодаря наличию у контактирующих поверхностей шероховатостей и погрешностей формы, взаимодействие винта, гайки и тел качения носит случайный характер и может быть корректно описано только с привлечением вероятностных методов. Применение APM Screw предоставляет пользователю полную и исчерпывающую картину тех процессов, которые происходят при работе винтовой передачи. Фактически модуль Screw позволяет смоделировать поведение винтовой передачи в любых, наперед заданных, условиях. Для реализации этого рассчитывается большая серия значений параметров, наглядно показывающая процесс их изменения. По результатам такого моделирования можно определить не только математическое ожидание выходных характеристик, но и максимальные отклонения, поля рассеяния и т. д.

### Жесткость и перемещения — ядро APM Screw




*Диалоговое окно демонстрации результатов вычислений*

Жесткость и контактные перемещения описывают поведение элементов механических устройств под действием внешней нагрузки. Если параметры жесткости известны, то это дает проектировщику ключ к определению множества других параметров.

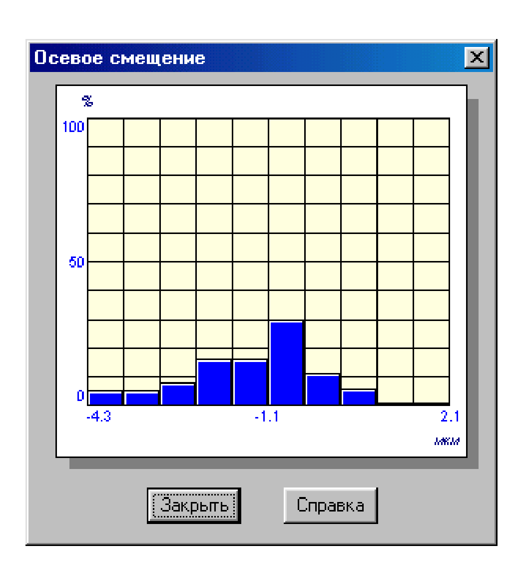
В зависимости от типа винтовой передачи перемещение может иметь до трех компонент — осевую, радиальную и боковую. В модуле APM Screw рассчитывается массив из 100 возможных положений центра гайки винтовой передачи. С помощью этих данных определяются осевая, радиальная и угловая жесткости при любом возможном варианте внешнего нагружения. Под произвольным внешнем нагружении понимается нагружение осевой и радиальной нагрузками, а также внешним моментом.

Деформационные характеристики представляются рассеянными в одно-, двух- либо трехмерном пространстве.

Для каждого из рассмотренных положений центра рассчитываются значения момента трения и потерь мощности, а также силы, действующие на тела качения.

### Представление результатов расчета

Результаты расчета представляются различными способами, в виде:



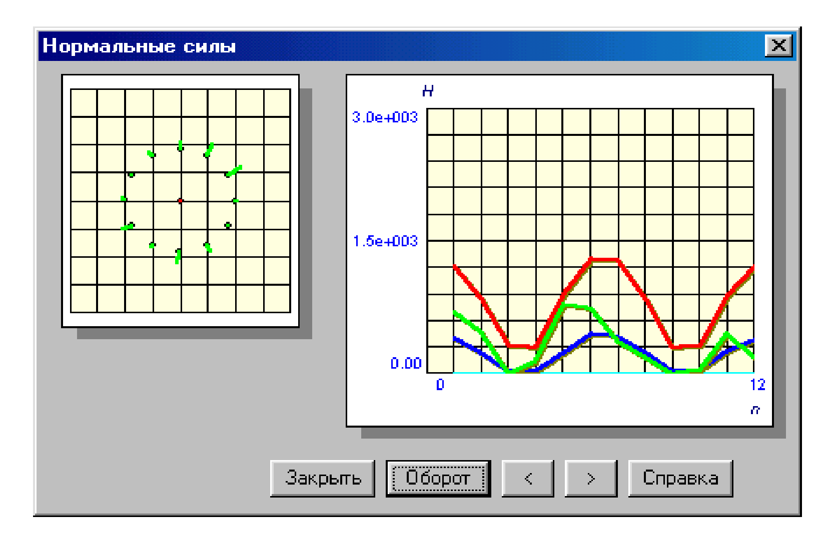

*Гистограмма осевых перемещений*

- таблиц со статистическими характеристиками;
- гистограмм компонент перемещений;
- пространственного поля положений центра гайки;
- анимации движения гайки.

Соответствующие формы представления дают возможность получить исчерпывающую характеристику движения винтовой передачи.

### Силы, действующие на тела качения

В процессе вращения винтовой передачи ее тела качения (или сателлиты в случае планетарного передаточного механизма) испытывают действие нормальных сил, приложенных со стороны дорожек качения и зависящих от геометрии и точности дорожек качения винта и гайки, характера внешней нагрузки и т. д.




*Силы, действующие на тела качения шариковой винтовой передачи*

Существующие в настоящее время подходы к силовому расчету основаны на упрощенных моделях, что оказывает значительное влияние на точность получаемых решений. Метод, используемый в модуле APM Screw, позволяет получить более реальную картину распределения нагрузок на телах качения и их изменения при повороте, что намного повышает точность вычислений.

Рассчитанные в APM Screw силы, действующие на тела качения, могут быть отображены двумя способами:

- в виде эпюры;
- в виде графика.

### Трение в винтовой передаче

При помощи APM Screw можно определить следующие величины, характеризующие действующие на передачу силы трения:

- момент трения;
- потери мощности;

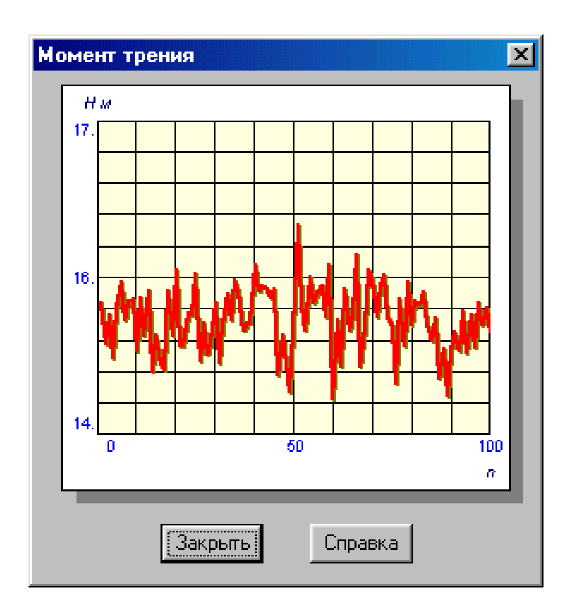


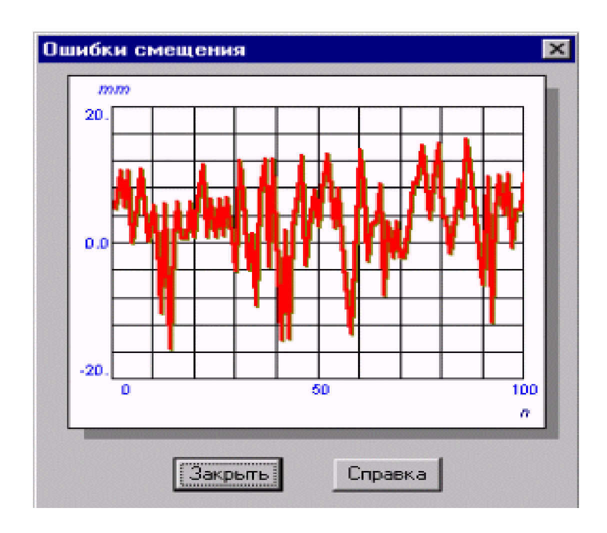

*График зависимости момента трения от угла поворота*

- тепловыделение;
- коэффициент полезного действия.

Момент трения и потери мощности рассчитываются как массивы из 100 значений, что дает возможность оценить особенности распределения этих параметров. Результаты представляются в виде таблиц, гистограмм или графиков.

Выделение тепла — это интегральный параметр, характеризующий количество тепла, выделившееся в передаче в результате действия сил трения за 1 час.

### Произвольное нагружение, включая преднатяг




*Ошибки позиционирования винтовой передачи*

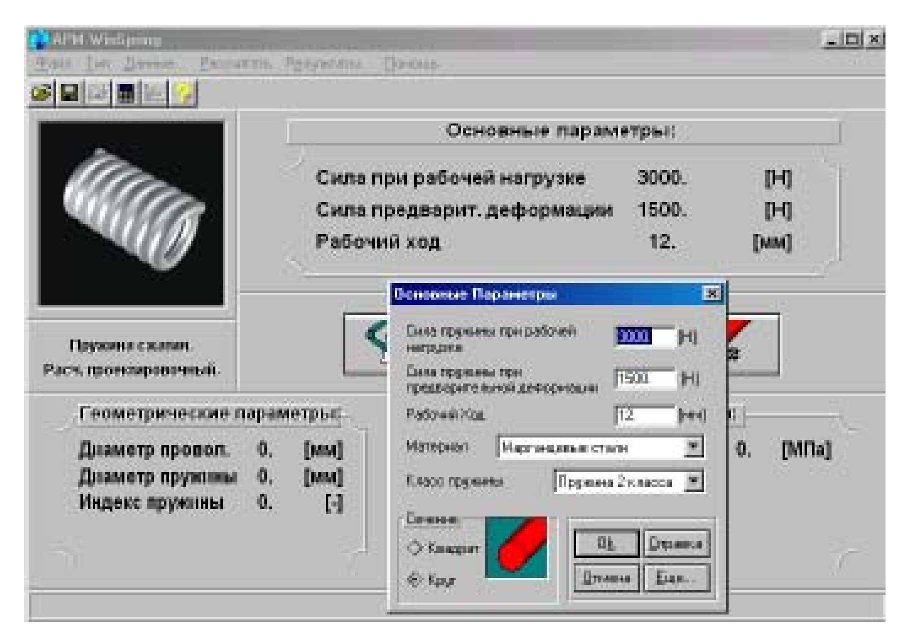
В APM Screw расчеты могут быть выполнены для любой комбинации осевой и радиальной сил и момента изгиба, а также осевого и радиального преднатяга, допустимых для винтовой передачи рассматриваемого типа. При расчете долговечности внешние нагрузки можно рассматривать переменными во времени, для чего в модуле имеется специализированный графический редактор.

Для проведения расчетов необходимо знание только значений допусков, что позволяет использовать APM Screw на стадии проектирования нового оборудования. Выполнив серию вычислений, можно подобрать рациональные размеры передачи и значение оптимального предварительного натяга.

# APM Spring

«модуль расчета и проекторования упругих элементов машин»

*Упругими элементами называют детали, имеющие высокую податливость при минимальных размерах. Они используются в качестве нагружающих устройств, рассеивающих энергию ударов и толчков амортизаторов и устройств для накопления энергии. Амортизаторы играют важную роль в работе современных машин, увеличивая их долговечность за счет демпфирования колебаний и управления резонансными частотами механических систем.*




*Ввод исходных данных для расчета пружины*

Модуль APM Spring предназначен для всестороннего расчета и проектирования упругих металлических элементов машин. Он позволяет выполнить проектировочный и проверочный этих объектов и получить чертежи рассчитанных деталей. Под проектировочным расчетом понимают определение геометрических размеров упругих элементов по известным значениям внешних сил и деформаций. Проверочный расчет позволяет определить запасы прочности упругих элементов в зависимости от их геометрических размеров.

### Типы упругих элементов машин

Модулем APM Spring предусмотрено проектирование следующих типов упругих элементов машин:

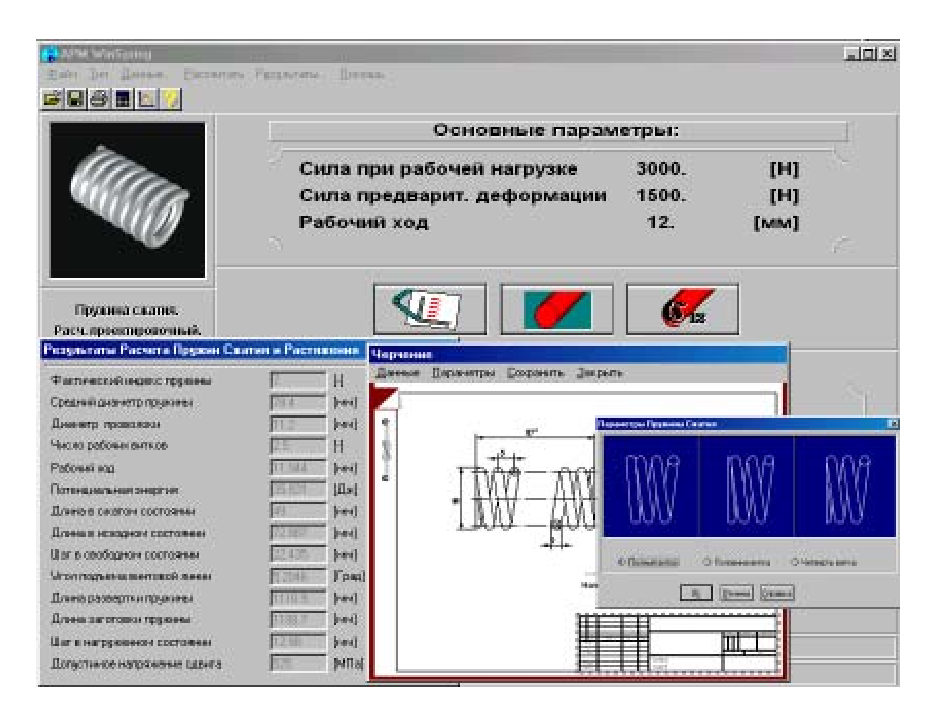
- цилиндрические пружины растяжения круглого и прямоугольного поперечных сечений;
- цилиндрические пружины сжатия круглого и прямоугольного поперечных сечений;
- цилиндрические пружины кручения круглого и прямоугольного поперечных сечений;
- тарельчатые пружины сжатия;

- плоские прямоугольные пружины;
- торсионы.

## Методы расчета

Расчеты выполняются в условиях действия как постоянной, так и переменной во времени нагрузок. Основными являются расчеты на статическую прочность при постоянной нагрузке и на выносливость при переменном характере нагружения. Кроме того, возможен расчет пружин методом конечных элементов.

Проектировочные и проверочные расчеты проводятся аналитическими методами сопротивления материалов. Для более сложных случаев нагружения и закрепления можно




*Вывод результатов расчета*

использовать модуль APM Structure3D, в котором возможен расчет пружины на прочность, жесткость, устойчивость и динамику методом конечных элементов при произвольном нагружении и закреплении. В этом модуле и визуализация геометрического изображения пружины, и разбивка на конечные элементы производится автоматически. В результате пользователь получает полную картину напряженно-деформированного состояния упругого элемента.

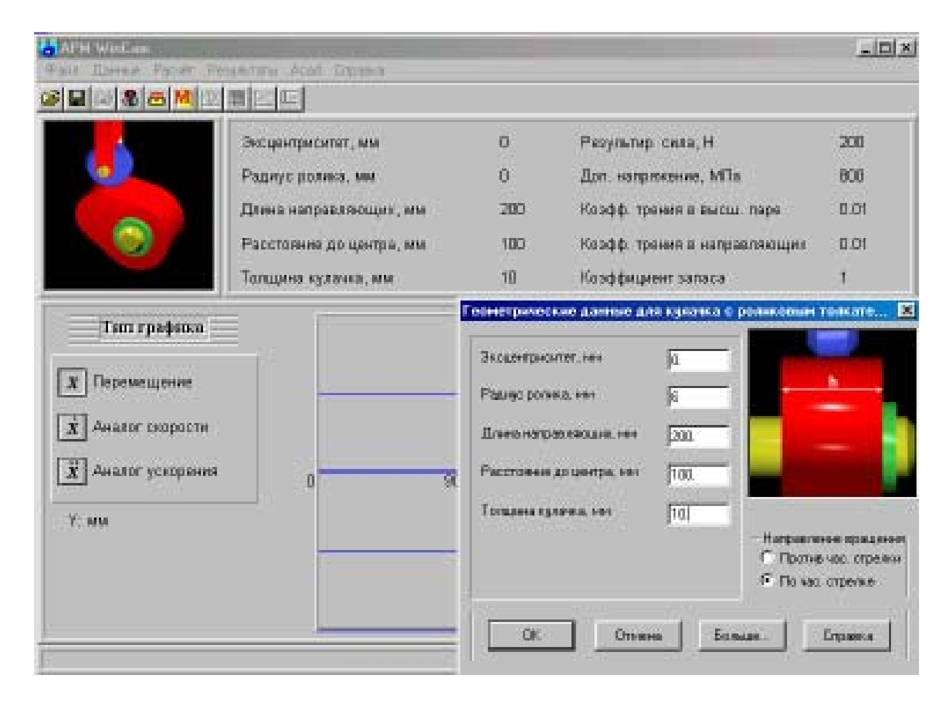
## Создание рабочих чертежей

После выполнения проектировочного и проверочного расчетов имеется возможность генерации чертежа, который в дальнейшем может быть использован в графическом модуле APM Graph или других графических редакторах, поддерживающих формат DXF.

# APM Cam

«модуль расчета и проектирования кулачковых механизмов»

*Кулачковые механизмы применяются для преобразования вращательного движения в поступательное или качательное движение толкателя. В механизмах этого типа закон движения толкателя определяется геометрической формой кулачка и видом толкателя. Кулачковые механизмы часто используются в качестве устройств управления, задающих тот или иной закон движения. Модуль APM Cam предназначен для проектирования элементов кулачкового механизма по известному закону движения.*




*Задание исходных данных для расчета кулачка*

### Подготовка исходных данных в APM Cam

Закон движения может быть задан в одном из следующих видов:

- график перемещения;
- график скорости;
- график, определяющий изменение ускорения по углу поворота кулачка.

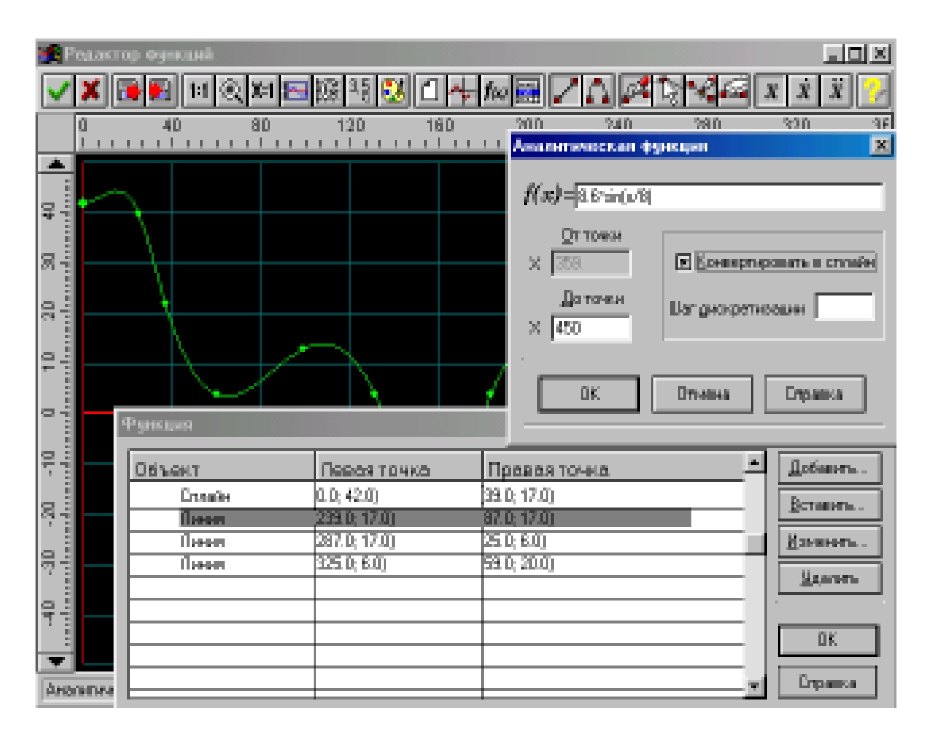
Подготовка исходных данных, таким образом, сводится к выбору типа кулачкового механизма и заданию некоторых вспомогательных, в том числе и геометрических, сведений по материалам и виду закона движения.

Для задания графической информации в модуле APM Cam имеется специальный инструмент, с помощью которого можно ввести график функции с монитора в виде сплайна или в виде набора линейных отрезков и любой их комбинации. Имеется возможность редактирования введенной информации с целью ее модификации.

Предусмотрен также ввод аналитических функций и информации из файла. Для аналитического задания функций существует редактор анализа и обработки аналитических выражений.

### Критерии расчета

Профиль кулачка выбирается исходя из заданного закона движения толкателя, диаметр — из ограничения угла давления, а толщина и радиус толкателя — из ограничений по наибольшим напряжениям в контакте.



*Окно редактора функций для задания закона движения толкателя*

### Результаты расчета

Модуль APM Cam позволяет:

- рассчитать профиль кулачка и представить его в декартовых и полярных координатах;
- определить закон изменения улов давления по углу поворота кулачка;
- представить профиль кулачка и смоделировать его работу, используя при этом анимационные возможности;
- построить рабочий чертеж кулачка с целью облегчения процедуры его изготовления.

Модуль готовит чертежную информацию в файле формата DXF, которая может быть прочитана в редакторе APM Graph или внешним графическим редактором, например, AutoCAD.

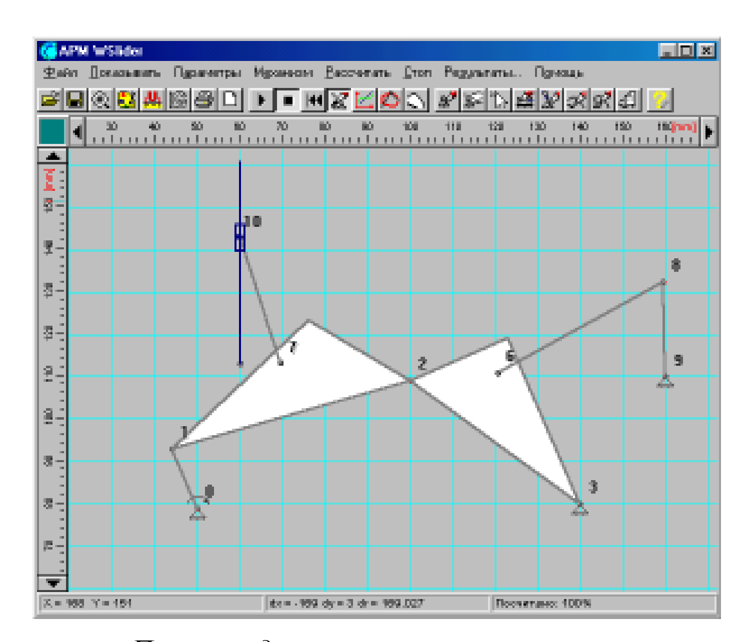
Модуль позволяет также выполнить весь комплекс необходимых проверочных расчетов кулачковых механизмов.

APM Cam позволяет быстро и без дополнительных построений менять геометрические размеры законы движения толкателя и анализировать графики скоростей и ускорений толкателя. Такой подход к проектированию механизма позволяет для выбранного случая получать информацию относительно геометрических размеров и формы кулачка, и на основе этой информации, сделать вывод относительно корректности принятия конструктивного решения. Он позволяет создавать оптимальные механизмы, если под оптимизацией понимать процедуру последовательного редактирования и анализа.

# APM Slider

«модуль расчета и проектирования плоских рычажных механизмов произвольной структуры»

*Механизмы — это устройства для преобразования одного или нескольких видов движения в движение другого вида.* В рычажных механизмах *такое преобразование осуществляется с помощью деталей (звеньев), поперечные сечения которых много меньше их длины. Обычно рычажные механизмы позволяют преобразовывать поступательное либо вращательное движения в движение, выполняемое по сложной траектории. Например, если приводом ведущего звена является кулачковый механизм, то законы движения, заданные кулачковым механизмом, преобразуются рычажным в движения по иным траекториям.*




*Пример задания рычажного механизма*

Модуль APM Slider предназначен для комплексного анализа плоских рычажных механизмов произвольной геометрической структуры. Он позволяет выполнить весь комплекс необходимых проверочных расчетов для предварительно введенного механизма. Этот комплекс включает расчет:

- траектории движения произвольной точки исследуемого механизма;
- скорости и ускорения произвольной точки исследуемого механизма;

а также проверку на наличие проворачиваемости в механизме.

Для реализации этих возможностей в модуле имеется специализированный редактор, который позволяет:

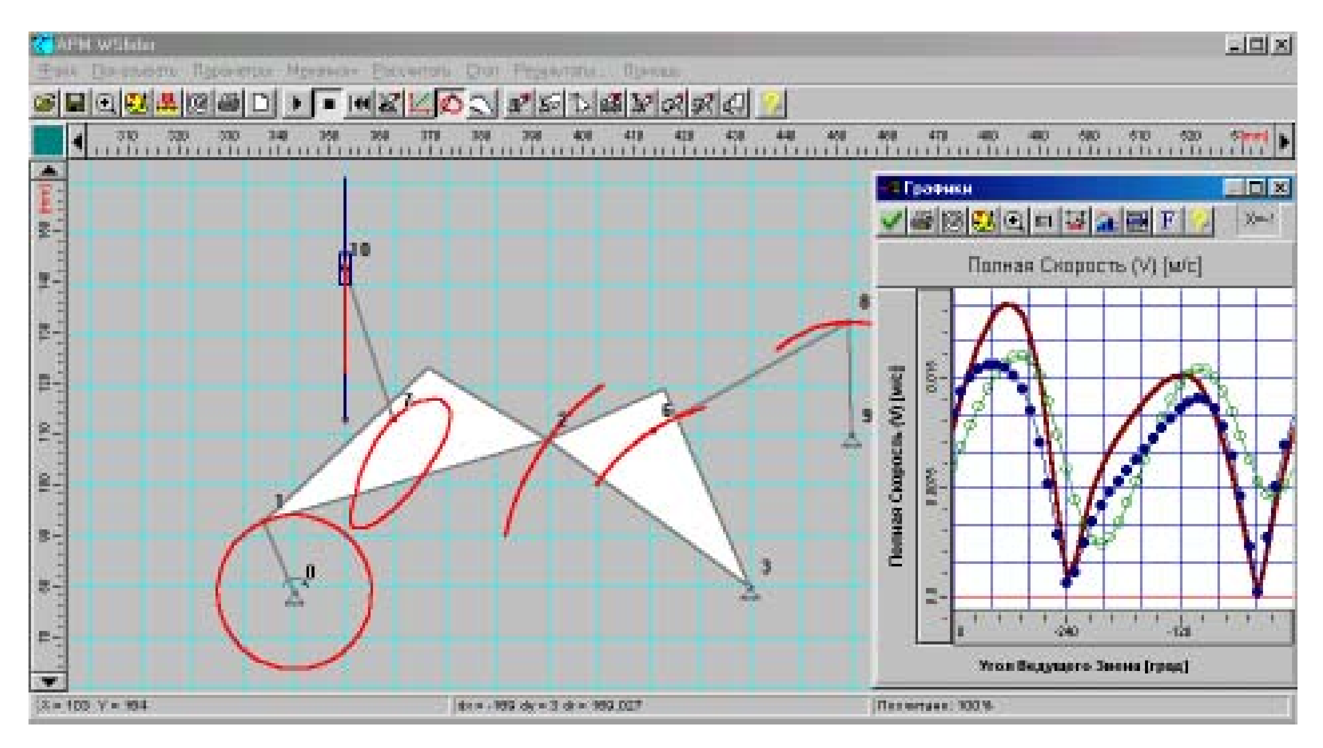
- задавать геометрию механизма в параметризованном виде;
- редактировать заданную геометрию и модифицировать ее;
- задавать закон движения ведущего звена либо в виде графика, построенного по точкам, либо в виде аналитической функции;
- осуществлять анимационное представление работы механизма в режиме реального времени.

При расчете реальный рычажный механизм заменяется проволочной моделью, которая представляет собой произвольную комбинацию четырехзвенных и шестизвенных, а также ползунных и кулисных механизмов. Проволочная модель звена может быть усложнена, в частности, путем формирования тела произвольной геометрии, на поверхности которого можно указать любое число точек (шарниров). Эти точки в дальнейшем допустимо использовать для присоединения последующих звеньев. Кроме того, по желанию проектировщика в выделенных точках проводится комплексный расчет.

Специализированный редактор позволяет создавать бесчисленное множество рычажных механизмов, ведущее звено которых может иметь либо вращательное, либо поступательное движение.

Для анализа результатов в модуле предусмотрен визуализатор графической информации, который дает возможность наглядно представить полученные результаты с целью их анализа и обработки.

С помощью APM Slider быстро и без дополнительных построений осуществляется изменение геометрических размеров механизма и его содержания. Такой подход к




*Показ траекторий и графика полной скорости выбранных звеньев (2,7,8)*

проектированию позволяет получать информацию для анализа заданного механизма и на этой основе делать вывод относительно корректности принятия конструктивного решения.

Используя APM Slider, можно создавать оптимальные механизмы, если под оптимизацией понимать процедуру последовательного анализа и редактирования.

# КОМПЛЕКСНАЯ АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСКИХ РАБОТ

**НТЦ АПМ** занимается разработкой программного обеспечения (ПО) в области автоматизированного проектирования широкого класса объектов машиностроения и строительства, его продажей, техническим обслуживанием и обучением пользователей работе с поставляемым ПО в течение 11 лет.

Программное обеспечение под маркой **APM WinMachine** успешно эксплуатируется более чем на трехстах предприятиях России и стран ближнего и дальнего зарубежья в самых различных отраслях промышленности. Среди пользователей системы **APM WinMachine** более трехсот технических ВУЗов, техникумов и колледжей России, Прибалтики, Казахстана, Японии, Южной Кореи и других стран.

**НТЦ АПМ** специализируется на комплексной автоматизации:

- выпуска чертежно-графической документации;
- управления проектом;
- инженерных расчетов, включая расчеты на прочность методом конечных элементов.

Система **APM WinMachine** имеет модульную структуру. Каждый модуль может функционировать как самостоятельно, так и в совокупности с остальными модулями. Мы предлагаем комплектовать рабочие места в зависимости от их назначения следующим образом:

## Рабочее место конструктора механического оборудования (полный комплекс APM WinMachine) включает:

1. плоский чертежно-графический редактор APM Graph;
2. редактор трехмерного моделирования APM Studio;
3. базу данных APM Data;
4. базу знаний (электронный учебник) APM Book;
5. систему документооборота, хранения технической документации и управления проектом APM DOCs;
6. модули инженерных расчетов:
   - 6.1 APM Trans – проектирование механических передач вращения;
   - 6.2 APM Shaft – проектирование валов и осей;
   - 6.3 APM Bear – проектирования подшипников качения;
   - 6.4 APM Drive – модуль автоматизированного проектирования привода вращательного движения произвольной структуры;
   - 6.5 APM Joint – проектирования соединений элементов машин;
   - 6.6 APM Spring – расчет пружин, торсионов и других упругих элементов машин;
   - 6.7 APM Cam – проектирование кулачковых механизмов;
   - 6.8 APM Slider – проектирование рычажных механизмов произвольной структуры;
   - 6.9 APM WinPlain – расчет подшипников скольжения;
   - 6.10 APM WinScrew – расчет винтовых передач (скольжения, шарико- и планетарно-винтовых).
7. модули прочностного и динамического анализа, а также анализа устойчивости:
   - 7.1 APM Structure3D – проектирование пластинчатых, оболочечных, стержневых и твердотельных конструкций, а также их произвольных комбинаций;
   - 7.2 APM Beam – проектирование балочных конструкций;
   - 7.3 APM Truss – расчет ферменных конструкций;
   - 7.4 APM FEM2D – конечно-элементный анализ плоских деталей.

### Комплекс оформления конструкторской документации включает:

1. плоский параметрический чертежно-графический редактор APM Graph;
2. редактор трехмерного моделирования APM Studio;
3. базу данных APM Data;
4. базу знаний (электронный учебник) APM Book;
5. систему документооборота, хранения технической документации и управления проектом APM DOCs.

### Рабочее место конструктора строительных объектов APM StructFEM включает:

1. плоский параметрический чертежно-графический редактор APM Graph;
2. редактор трехмерного моделирования APM Studio;
3. модуль расчетов на прочность строительных конструкций APM Stucture3D;
4. модуль проектирования соединений элементов конструкций APM Joint;
5. модуль проектирования балочных конструкций APM Beam;
6. модуль расчета ферменных конструкций APM Truss;
7. модуль конечно-элементного анализа плоских деталей APM FEM2D;
8. базу данных элементов строительных конструкций и сантехнического оборудования APM Data_B, вводится в эксплуатацию 01.07.2004 г.;
9. систему технического документооборота APM DOCs.

### Предлагаемая организация проектно-конструкторских и технологических работ

Каждому пользователю предоставляется как индивидуальное рабочее место, так и рабочее место в сети. При этом работа с проектом осуществляется с использованием как локальных, так и сетевых источников данных.

По желанию Заказчика рабочие места могут комплектоваться не только указанным образом, но и отдельными модулями или группами модулей.

Кроме того, по запросу Заказчика НТЦ АПМ обязуется разработать ПО, не входящее в вышеуказанный перечень, которое представляет интерес для Заказчика в рамках сквозного проектирования. Эта услуга предоставляется по ценам, согласованным с Заказчиком.

Конкретные места установки ПО, их количество, комплектация и окончательная стоимость определяются по согласованию с Заказчиком, исходя из производственной необходимости и технической оснащенности подразделений и предприятия в целом, и фиксируются в техническом задании.

Таким образом, предлагаемое **НТЦ АПМ** программное обеспечение охватывает все ключевые направления проектирования, выпуска чертежной документации и технического электронного документооборота.

Применение программных продуктов **APM WinMachine** позволяет пользователям получить инструмент для комплексного решения их насущных производственных задач.

# ТЕХНИЧЕСКАЯ И СЕРВИСНАЯ ПОДДЕРЖКА ПРОГРАММНЫХ ПРОДУКТОВ APM WINMACHINE

Научно-технический центр АПМ обеспечивает обучение специалистов Вашего предприятия, консультационное, гарантийное и абонементное обслуживание, а также полную техническую поддержку поставляемого программного обеспечения.

**Обучение**

Преподаватели НТЦ АПМ проводят обучение групп специалистов работе с комплексом *APM WinMachine* (36 академических часов). Возможно обучение как в учебном центре НТЦ АПМ, так и непосредственно на предприятии-заказчике.

**Консультационное обслуживание**

В Центре АПМ постоянно действует консультационная «горячая» линия, которая позволяет оперативно получить ответ на любые вопросы. Имеется возможность обмена информацией по электронной почте.

**Гарантийное обслуживание**

Научно-технический центр АПМ осуществляет гарантийное обслуживание приобретенного Вами программного обеспечения, включая бесплатную поставку новых версий, в течение года с момента приобретения.

**Абонементное обслуживание**

По истечении гарантийного срока Вы можете заключить с НТЦ АПМ договор на абонементное обслуживание, предусматривающий дважды в год поставку новых версий.

**Техническая поддержка**

Научно-технический центр АПМ ежемесячно проводит семинары пользователей, на которых Вы можете задать все интересующие Вас вопросы и получить квалифицированную помощь специалистов. Семинары позволяют также обмениваться опытом и получать самую свежую информацию о перспективных разработках Центра и выходе новых и исправленных версий. Замена исправленных версий производится бесплатно.

Специалисты Научно-технического центра АПМ ведут постоянный учет замечаний и пожеланий пользователей и оперативно на них реагируют. Просьба сообщать нам обо всех конкретных предложениях, касающихся доработки и улучшения нашего программного продукта по адресу **com@apm.ru.**

# ПРОГРАММНЫЕ ПРОДУКТЫ APM WINMACHINE НА СЛУЖБЕ РОССИЙСКОМУ ОБРАЗОВАНИЮ

Система **APM WinMachine** нашла широкое применение в высших учебных заведениях России, а также стран ближнего и дальнего зарубежья. С помощью **APM WinMachine** можно организовать лабораторные и практические занятия по таким общетехническим дисциплинам, как «Сопротивление материалов», «Теоретическая механика», «Детали машин», «Теория машин и механизмов», «Подъемно-транспортные машины», «Строительная механика» и многим спецкурсам машиностроительного и строительного профилей. **APM WinMachine** незаменима также при курсовом и дипломном проектировании. Около двух сотен ВУЗов уже активно используют **APM WinMachine** в учебном процессе. Среди них— МГТУ им. Н.Э. Баумана, Московская государственная академия печати, Московский государственный авиационный институт — ТУ, Московский государственный университет путей сообщения, Московская государственная академия пищевых производств, Московская государственная академия химического машиностроения, С-Петербургская государственная академия холода и пищевых технологий, Альметьевский нефтяной институт, Иркутский государственный институт инженеров транспорта, Украинский государственный университет пищевых технологий, Воронежская государственная архитектурно-строительная академия, Дальневосточный государственный университет путей сообщения, Уфимский государственный авиационный технический университет, Братский государственный технический университет, Орловский государственный технический университет, Сибирский государственный технологический университет, Калининградский государственный технический университет, Алтайский государственный аграрный университет, Ростовский государственный университет путей сообщения, Оренбургский государственный университет, Северо-Кавказский государственный технологический университет, Тамбовский государственный технический университет, Дальневосточная государственная морская академия, Каунасский технологический университет, Читинский государственный технический университет, Челябинский государственный агроинженерный университет, Воронежский государственный аграрный университет и многие - многие другие.

Научно-технический центр АПМ проводит в отношении российских ВУЗов политику, направленную на всемерное внедрение в учебный процесс современных компьютерных технологий, переход преподавания на качественно иной уровень. В рамках программы поддержки отечественного образования НТЦ АПМ беспрецедентно снижает цены — **для ВУЗов одна полная копия APM WinMachine стоит всего 325 EURO!**

# СТАТЬИ О ПРОГРАММНЫХ ПРОДУКТАХ APM WINMACHINE

| Название издания | Выходные данные | Название статьи | Авторы |
|---|---|---|---|
| «САПР и графика» | № 10/1997 | APM WinMachine — уникальный инструмент проектировщика | Вл. Шелофаст, Е. Стайнова |
| «САПР и графика» | № 3/1998 | Учить нужно не лучше, а иначе! | Вл. Шелофаст, Е. Стайнова |
| «САПР и графика | № 9/1998 | APM WinJoint — продукт, с которым стоит познакомиться поближе» | Вл. Шелофаст, Вад. Шелофаст Е. Стайнова |
| «САПР и графика» | № 1/1999 | APM WinCam — среда для проектирования механизмов | Вл. Шелофаст, С. Григорьев |
| «САПР и графика» | № 4/1999 | Некоторые области эффективного применения APM WinMachine при проектировании объектов железнодорожного транспорта | И. Бирюков, И. Серегина |
| «САПР и графика» | № 7/1999 | Инструменты, предназначенные для ускорения проектирования | Вад. Шелофаст |
| «САПР и графика» | № 10/1999 | APM WinStructure 3D — новые возможности прочностного анализа | Вад. Шелофаст, Д. Н. Жуков |
| «САПР и графика» | № 12/1999 | АПМ — итоги и перспективы | Вл. Шелофаст, Е. Стайнова |
| «САПР и графика» | № 02/2000 | «Московские окна» — не только современная технология, но и современные методы проектирования | Д. Гринцевич, С. Хренов |
| «САПР и графика» | № 04/2000 | Применение APM WinMachine для прочностных расчетов на Демиховском МЗ | И. А. Серегина |
| «САПР и графика» | № 06/2000 | Система компьютерного анализа для российских пользователей | А. Мазурин |
| «САПР и графика» | № 09/2000 | Новые графические возможности CAD/CAE-системы APM WinMachine | Вл. Шелофаст С.Григорьев Е. Стайнова |
| «САПР и графика» | № 09/2000 | Применение отечественных программных продуктов в учебном процессе | И. Моисеева Н. Голдина А. Белозерцева |
| «САПР и графика» | № 11/2000 | Процесс компьютерного проектирования | Вл. Шелофаст |
| «САПР и графика» | № 12/2000 | APM WinMachine — небеспристрастный взгляд в недавнее прошлое | Вл. Шелофаст Е. Стайнова А. Замрий |
| «САПР и графика» | № 01/2001 | Специализированная среда для расчета конструкций валов и осей | Вл. Шелофаст |
| «САПР и графика» | № 04/2001 | Совершенствование сельхозмашин с помощью программных продуктов НТЦ АПМ | Г. Забелин Д. Демидов |
| «САПР и графика» | № 06/2001 | Нет предела совершенству. О ежегодном семинаре пользователей Системы APM WinMachine | А. Мазурин |
| «САПР и графика» | № 08/2001 | APM WinStruture3D — совершенный механизм строительного проектирования | Вад. Шелофаст |
| «САПР и графика | № 09/2001 | Отечественные CAD/CAE — системы в учебном процессе | А. Вылегжанин |
| «САПР и графика» | № 11/2001 | Параметрические возможности графического модуля APM Graph Системы APM WinMachine | С. Розинский Д. Шанин С. Григорьев |
| «САПР и графика» | № 12/2001 | Система APM WinMachine 2001 — итоги уходящего года | Вл. Шелофаст, Е. Стайнова |
| «САПР и графика» | № 01/2002 | Модуль APM WinTrans для автоматизированного проектирования передач вращательного движения | Вл. Шелофаст |
| «САПР и графика» | № 02/2002 | Программые продукты фирмы НТЦ АПМ как инструмент формирования инженерных кадров | Вл. Шелофаст, |

*Продолжение таблицы*

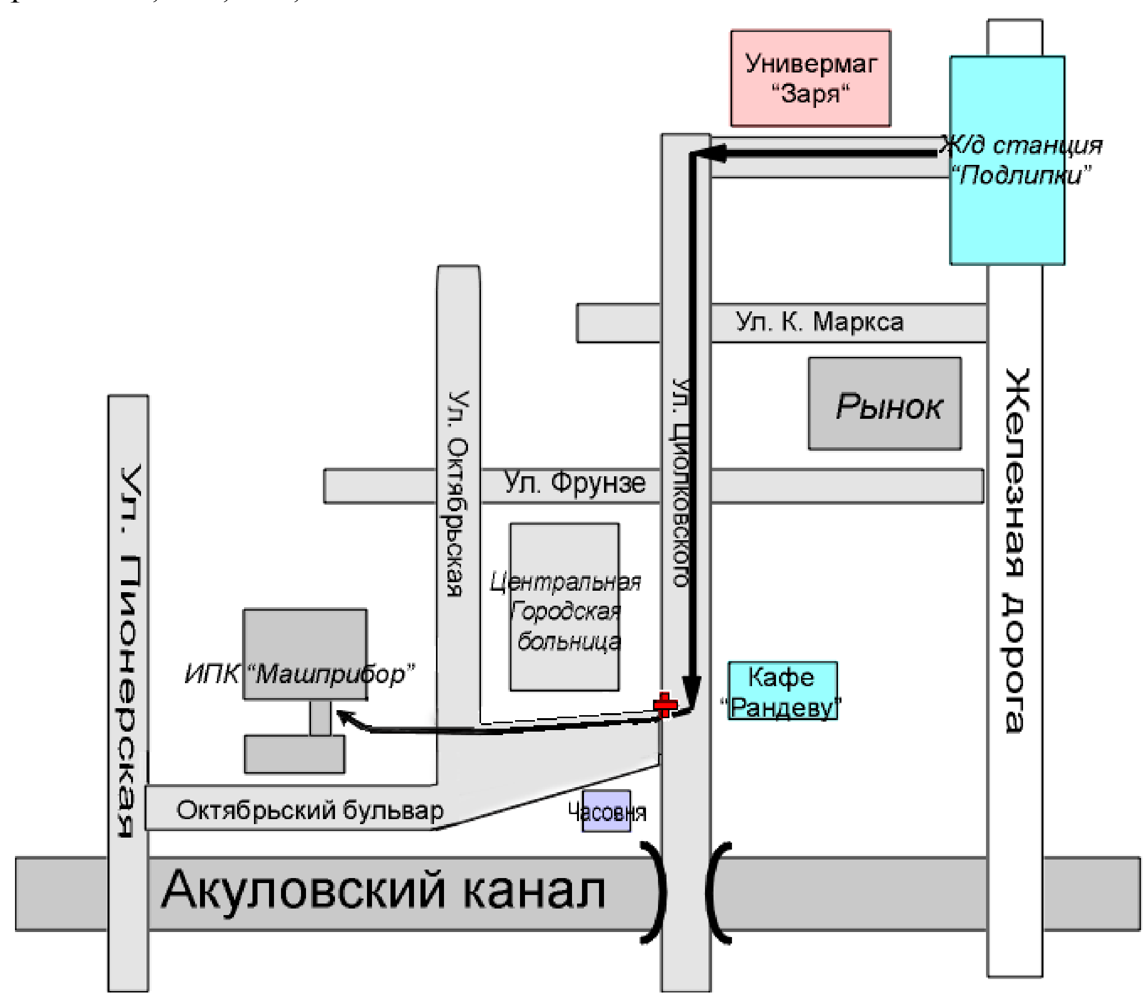
| Название издания | Выходные данные | Название статьи | Авторы |
|---|---|---|---|
| «САПР и графика» | № 03/2002 | Геометрическое ядро APM Engine — инструмент трехмерного моделирования обьектов | Д. Жуков, В. Сидоренко Ю. Шатохин |
| «САПР и графика» | № 04/2002 | Опыт применения системы APM WinMachine при проектироввнии конструкций вагонов электропоездов | И. Серегина, |
| «САПР и графика» | № 05/2002 | Опыт регионального внедрения системы автоматизированного проектирования APM WinMachine | И. Ефремов А. Трофимов |
| «САПР и графика» | № 06/2002 | Автоматизация проектирования приводов вращательного движения в модуле APM Drive | Вл. Шелофаст Вад. Шелофаст С. Григорьев |
| «САПР и | № 06/2002 | Семинар пользователей APM APM WinMachine | К. Евченко |
| «САПР и графика» | № 08/2002 | Тестовые испытания APM WinMachine — необходимый элемент при создании надежного ПО | В. Протопопов Вад. Шелофаст Е. Стайнова |
| «САПР и графика» | № 09/2002 | База данных APM Data — связуюший элемент в структуре системы APM WinMachine | И. Сокол Д. Шанин Ю. Савченко С. Розинский |
| «САПР и графика» | № 10/2002 | Компания НТЦ АПМ — 10 лет на рынке САПР | Вл. Шелофаст Е. Стайнова |
| «САПР и графика» | № 11/2002 | Практический опыт использования системы APM WinMachine при проектировании несущих металлоконструкций | А. Трофимов И. Ефимов Е. Валуева |
| «САПР и графика» | № 12/2002 | 2002-й — год динамичного развития компании НТЦ АПМ | Вл. Шелофаст Е. Стайнова Вад Шелофаст |
| «САПР и графика» | № 01/2003 | Автоматизированное проектирование приводов, составленных из планетарных передач | С. Григорьев Л. Андриенко Ю. Савченко |
| «САПР и графика» | № 02/2003 | Опыт создания оригинальных строительных конструкций в среде APM Structure3D | А. Агапиев |
| «САПР и графика» | № 03/2003 | Новые возможности APM Structure3D | В. Прокопов Вад. Шелофаст |
| «САПР и графика» | № 04/2003 | Проектирование и расчет металлоконструкций козловых кранов с применением комплекса программ APM WinMacine | К. Поссе Л. Морозов |
| «САПР и графика» | № 06/2003 | Форум пользователей системы APM WinMachine - смотр последних достижений компании АПМ | Вл. Шелофаст |
| «САПР и графика» | № 07/2003 | Редактор поверхностного трехмерного моделирования APM Studio как часть программного комплекса APM WinMacine | С. Григорьев А. Лазарев А. Палагин В. Сидоренко Ю. Шатохин |
| «САПР и графика» | № 08/2003 | Оптимальное проектирование строительных объектов в модуле APM Structure3D в режиме расчета и проектирования ферменных конструкций | В. Прокопов Вад. Шелофаст |
| | | | |

# КАК НАЙТИ
# НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЦЕНТР
# “АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ МАШИН”

1. От метро ВДНХ на маршрутном такси №6 и №392 до ЦГБ г. Королева.
Выходить у (остановка по требованию пассажира).
Далее по стрелке до ИПК “Машприбор”.

2. Электропоездом от Ярославского вокзала по направлениям: Монино, Щелково, Фрязево, Фрязино, Болшево до станции “Подлипки дачные”.
Далее маршрутным такси К (кольцевой красный) или №4 в сторону проспекта Королева.
Выходить у (остановка по требованию пассажира).

Офисы: 806, 807, 823, 824




Адрес: 140070, г. Королев, Московская область, Октябрьский бульвар, д. 12

Тел./факс: +7 (095) 513 - 13 - 93

E-mail: com@apm.ru

URL: www.apm.ru